

1-2021

FIRE and EXPLOSION
SAFETY

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



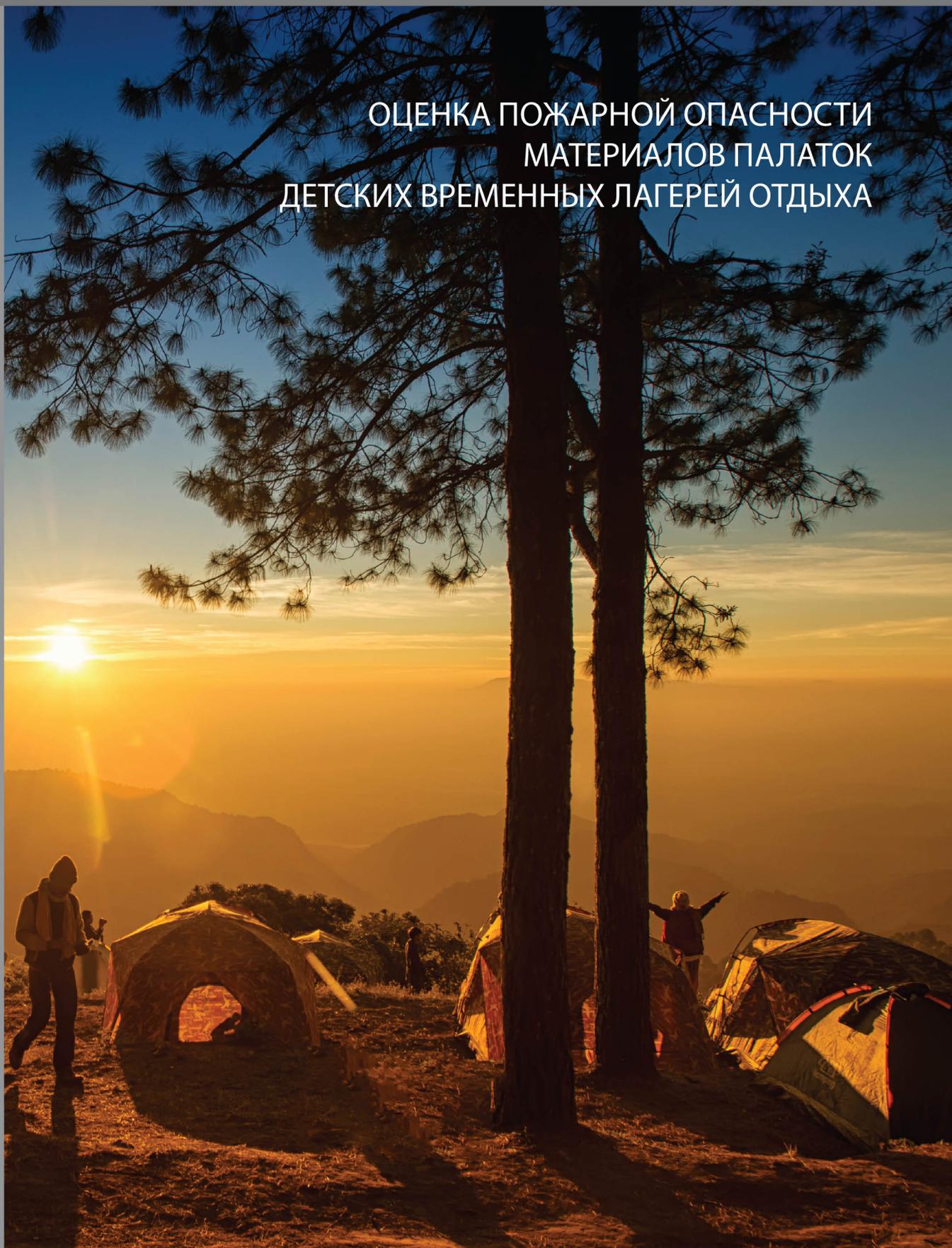
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ
МАТЕРИАЛОВ ПАЛАТОК
ДЕТСКИХ ВРЕМЕННЫХ ЛАГЕРЕЙ ОТДЫХА



№ 1 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
Эл № ФС77-79403 от 16 октября 2020 г.
Префикс DOI: 10.22227

РЕДАКЦИЯ:

Выпускающий редактор **Дядичева А.А.**
Редактор **Махиянова Е.Б.**
Корректор **Светличная Л.В.**
Дизайнер **Федотов А.Д.**

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.

Выход в свет 26.02.2021.

Фото для оформления журнала взяты с сайтов: pixabay.com;
stroy-zashita.ru; masterpotoku.ru

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, Ньютаунабби, Вели-
кобритания)

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 универ-
ситет, 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)

Богданов В.В., д. х. н., профессор (Научно-исследовательский институт фи-
зико-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 уни-
верситет, 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. Соломен-
ко Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия)

Поландов Ю.Х., д. т. н., профессор (Национальный исследовательский Москов-
ский 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, Ньютаунабби, Великобритания)

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

Н.И. КОНСТАНТИНОВА, А.В. ЗУБАНЬ,
Е.А. ПОЕДИНЦЕВ, Н.В. ГОЛОВ
Оценка пожарной опасности материалов палаток
детских временных лагерей отдыха

5

N.I. KONSTANTINOVA, A.V. ZUBAN,
E.A. POEDINTSEV, N.V. GOLOV
Tent fabric used by seasonal children's camps:
fire risk assessment

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

Л.А. КОРОЛЕВА, А.Г. ХАЙДАРОВ,
Г.К. ИВАХНИЮК, Ю.Е. АКТЕРСКИЙ
Применение потенциала горючести и эксергетического
показателя для оценки пожарной опасности грузов
железнодорожного транспорта

16

L.A. KOROLEVA, A.G. KHAYDAROV,
G.K. IVAKHNYUK, Yu.E. AKTERSKIY
Using the flammability potential and the exergy indicator
to assess the fire hazard of the rail transportation
of cargoes

В.И. ПРИСАДКОВ, Д.В. УШАКОВ,
А.А. АБАШКИН, А.С. ЗУЕВА
Экраны вокруг проемов в перекрытиях
общественных зданий

32

V.I. PRISADKOV, D.V. USHAKOV,
A.A. ABASHKIN, A.S. ZUEVA
Screens surrounding openings in floor slabs
of public buildings

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА

AUTOMATED SYSTEMS AND MEANS

Л.Т. ТАНКЛЕВСКИЙ, А.А. ТАРАНЦЕВ,
О.А. ЗЫБИНА, И.А. БАБИКОВ
Об оценке эффективности спринклерной автоматической
установки пожаротушения

42

L.T. TANKLEVSKIY, A.A. TARANTSEV,
O.A. ZYBINA, I.A. BABIKOV
The efficiency assessment of an automatic
sprinkler system

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

Д.А. КОРОЛЬЧЕНКО, С.В. ПУЗАЧ
Оценка механизмов тушения горючих жидкостей
тонкораспыленной водой

54

D.A. KOROLCHENKO, S.V. PUZACH
The assessment of extinction mechanisms involving water
mist applied to combustible liquids

В.В. РОЕНКО, Т.И. ЧИСТЯКОВ,
Д.В. ТАРАКАНОВ, Р.В. ХАЛИКОВ
Оценка электропроводимости струй температурно-
активированной воды с дозированием ингибирующей
соли для тушения электрооборудования
газокомпрессорных станций

64

V.V. ROENKO, T.I. CHISTYAKOV,
D.V. TARAKANOV, R.V. KHALIKOV
Assessment of the electrical conductivity of thermally
activated water jets containing injections of inhibiting salt
used to extinguish electrical equipment at gas compressor
stations

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

А.В. ЕРШОВ, В.Б. КОРОБКО
Проблема актуального социального регулирования
в техносфере на примере пожарной безопасности

75

A.V. ERSHOV, V.B. KOROBKO
The problem of relevant social regulation
of the technosphere exemplified by fire safety

ВОПРОС – ОТВЕТ

QUESTION – ANSWER

А.С. ХАРЛАМЕНКОВ
Электропроводка во взрывоопасных зонах

86

A.S. KHARLAMENKOV
Electrical wiring in hazardous areas

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

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



Оценка пожарной опасности материалов палаток

Стр. 5



Оценка эффективности спринклерных систем

Стр. 42



Тушение горючих жидкостей тонкораспыленной водой

Стр. 54



Электропроводимость температурно-активированной воды

Стр. 64



Стр. 86

Электропроводка во взрывоопасных зонах

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

No. **1** VOL. 30
2021

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, Russia

Journal founded in 1992,
issued 6 times per year.

Publication is registered by the Federal
Service for Supervision of Communications,
Information Technology, and Mass Media
of Russia. Registration certificate El No.
FS 77-79403 on October 16, 2020.

DOI prefix: 10.22227.

EDITORIAL STAFF:

Executive editor **Dyadicheva A.A.**

Editor **Makhyanova E.V.**

Corrector **Svetlichnaya L.V.**

Layout **Fedotov A.D.**

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

"Pozharovzryvobezопасnost/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.

Date of publication 26.02.2021.

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

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

EXPLOSION



FIRE AND SAFETY

POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST

EDITOR-IN-CHIEF:

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

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

EDITORIAL BOARD:

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

N.M. Barbin, Dr. Sci. (Eng.), Cand. Sci. (Chem.), Professor, Honoured Worker of Science and Technology of the Russian Federation (Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia, Yekaterinburg, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

Yu.Kh. Polandov, Dr. Sci. (Eng.), Professor (National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

V.V. Kholshchevnikov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Academician and Honoured Member of Russian Academy of Natural Sciences, Academician of World Academy of Sciences for Complex Safety, Honoured Higher Education Employee of the Russian Federation (State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

Оценка пожарной опасности материалов палаток детских временных лагерей отдыха

© Н.И. Константинова ✉, А.В. Зубань, Е.А. Поединцев, Н.В. Голов

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Одной из актуальных проблем остается использование пожаробезопасных материалов палаток для детских палаточных лагерей, ее решение может включать в себя разработку специальной методологии и критериев оценки воспламеняемости основных материалов, составляющих конструкцию, на основании которых будет проводиться выбор материалов.

Проблематика вопроса. Используемые в настоящее время для изготовления палаток материалы представляют собой ткани из натуральных или синтетических волокон и различные полимеры. Они обладают повышенной пожарной опасностью, поэтому в случае возникновения пожара может быть не обеспечена безопасная эвакуация людей, что особенно важно для детских временных палаточных лагерей спорта и отдыха. В действующих отечественных нормативных документах содержатся только общие технические требования к палаткам для туризма или требования обеспечения пожарной безопасности на территории детских палаточных лагерей, но требования к пожарной безопасности материалов палаток и методы их оценки отсутствуют. Между тем известны случаи пожаров в детских палаточных лагерях.

Целью данной работы являлось установление требований пожарной безопасности материалов палаток для детских палаточных лагерей, разработка критериев и методов их испытаний.

Основными задачами, необходимыми для достижения поставленной цели, являются анализ существующих нормативных требований и методов определения пожарной опасности материалов палаток, установление параметров и критериев их оценки, а также разработка стандартной методологии испытаний.

Результаты и их обсуждение. Были проведены экспериментальные исследования по оценке комплекса параметров пожарной опасности некоторых видов текстильных и полимерных материалов, применяемых для тентов и напольных покрытий палаток. Установлено, что используемые материалы пожароопасны, поэтому целесообразно ограничить применение для палаток горючих легковоспламеняемых от малокалорийных источников зажигания материалов, в том числе по признаку образования горящего расплава, а также по опасности выделения токсичных продуктов горения.

На основе действующих стандартных методов были разработаны модифицированные методики и классификационные критерии оценки пожарной опасности материалов палаток для детских лагерей летнего отдыха, проведены экспериментальные исследования.

Вывод. Разработан проект национального стандарта, включающий в себя установление методологии и критериев оценки воспламеняемости, а также ограничение применения чрезвычайно опасных материалов палаток по токсичности продуктов горения.

Ключевые слова: малокалорийный источник зажигания; воспламеняемость; токсичность продуктов горения; горящий расплав; пожаробезопасные материалы

Благодарности: Авторы статьи выражают благодарность ведущему инженеру ФГБУ ВНИИПО МЧС России Семибратовой Ирине Сергеевне за проведение и предоставление результатов исследований параметров пожарной опасности текстильных и полимерных материалов.

Для цитирования: Константинова Н.И., Зубань А.В., Поединцев Е.А., Голов Н.В. Оценка пожарной опасности материалов палаток детских временных лагерей отдыха // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 1. С. 5–15. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.5-15

✉ Константинова Наталья Ивановна, e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

Tent fabric used by seasonal children's camps: fire risk assessment

© Nataliya I. Konstantinova ✉, Andrey V. Zuban, Evgeniy A. Poedintsev, Nikolay V. Golov

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

ABSTRACT

Introduction. The use of fireproof tent fabric at children's tent camps remains a relevant problem. It may be resolved by developing a special flammability assessment methodology and criteria applicable to materials, used as the structural framework of tents. This solution will determine the choice of fabric.

Aims and purposes. Materials, currently used to make tents, include natural or synthetic fabric and various polymers, that may be a fire hazard. In case of fire, safe evacuation of people may be unfeasible, although it is particularly important for children's seasonal tent camps designated for sports and leisure.

Domestic regulatory documents, that are currently in force, contain solely general technical requirements applicable to travel tents or ensuring fire safety in the territory of children's tent camps, but there are neither fire safety requirements applicable to tent materials, nor any methods of their assessment. Meanwhile, there were cases of fire at children's tent camps.

The purpose of this work is to establish fire safety requirements applicable to tent materials used at children's tent camps, to develop their testing criteria and methodology.

The main objectives to be accomplished in order to achieve the pre-set purpose include the analysis of effective regulatory requirements and methods used to determine the flammability of tent materials, the establishment of parameters and criteria designated for their assessment and the development of a standard testing methodology.

Results and discussion. Experimental studies were carried out to assess a set of flammability-related parameters of several types of fabric and polymers used to make outer/inner tents and ground sheets. It has been determined that currently used materials are fire-hazardous; therefore, it is advisable to limit the production of tents from combustible and flammable materials whose combustion may be triggered by low-calorie ignition sources, including those that can melt or release toxic combustion products.

Currently used standard methods were applied to develop modified methodologies and classification criteria needed to assess the flammability of tent materials for children's summer camps; experimental studies were also carried out.

Conclusions. A draft national standard has been developed; it implies the establishment of the flammability assessment methodology and criteria and restricts the use of tent materials, that are extremely hazardous in terms of the toxicity of their combustion products.

Keywords: low-calorie source of ignition; flammability; toxicity of combustion products; melt; fireproof materials

Acknowledgements: The co-authors would like to express gratitude to Irina Sergeevna Semibratova, senior engineer, FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia, for conducting a research into the flammability parameters of fabric and polymers and providing access to the research findings.

For citation: Konstantinova N.I., Zuban A.V., Poedintsev E.A., Golov N.V. Tent fabric used by seasonal children's camps: fire risk assessment. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(1):5-15. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.5-15 (rus).

✉ Nataliya Ivanovna Konstantinova, e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

Введение

Статистические данные о жертвах и материальном ущербе при пожарах в палаточных лагерях свидетельствуют об актуальности и важности проблемы использования пожаробезопасных материалов палаток, решение которой включает в себя установление методологии и критериев оценки воспламеняемости основных материалов, составляющих ее конструкцию.

В настоящее время для изготовления материалов палаток используется достаточно широкий спектр натуральных и синтетических материалов (на основе волокон хлопка, полиэфира, полиамида, кроме того, полиэтилен, поливинилхлорид и др.). Обладая хорошими эксплуатационными характеристиками, эти материалы имеют повышенную пожарную опасность, так как легко воспламеняются, быстро горят, имеют значительную площадь охвата пламенем, часто наблюдается значительное дымообразование и выделение токсичных продуктов горения, что может привести к удушью и отравлению, а также затруднит безопасную эвакуацию людей в случае возникновения пожара. Особенную опас-

ность такие материалы могут представлять для палаток детских временных лагерей отдыха, организация которых за последнее время возрастает.

В действующих нормативных документах, содержащих общие технические требования к палаткам для туризма, например, в ГОСТ 28917–91¹, требования пожарной безопасности отражены не в полной мере, что не обеспечивает безопасность людей в условиях возможного пожара.

В связи с вышеизложенным, настоящая работа посвящена установлению требований пожарной безопасности для материалов палаток, используемых в детских палаточных лагерях, и методов их испытаний.

Основными задачами, необходимыми для достижения поставленной цели, являются анализ существующих нормативных требований и методов определения пожарной опасности материалов палаток, установление параметров и разработка ме-

¹ ГОСТ 28917–91. Палатки туристические. Общие технические условия: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 26 февраля 1991 г. № 174.

тодологии оценки, проведение экспериментальных исследований.

Проблематика вопроса

Обеспечение пожарной безопасности детских палаточных лагерей, в частности, регламентируется Правилами противопожарного режима в Российской Федерации, утвержденными Постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации», однако указанные правила не содержат требований к пожарной безопасности к самим палаткам и используемым в их конструкции материалам. В указанном документе регламентированы требования к территории детских лагерей палаточного типа, размещению палаток, хранению легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (ЛВЖ и ГЖ) и пиротехники, пользованию открытым огнем, прокладке электрических сетей, оснащению автономными дымовыми пожарными извещателями, размещению первичных средств пожаротушения и др.

Между тем, известны случаи возгорания палаток по различным причинам, в частности, в результате пожара 23 июля 2019 г. в детском палаточном лагере на территории горнолыжного комплекса «Холдоми» Хабаровского края пострадало двенадцать человек, семь из них — дети, при этом сгорело 20 палаток из 26.

Одним из направлений для решения данного вопроса может быть применение огнезащищенных материалов, составляющих по площади и объему значительную часть конструкции палатки: наружный тент палатки, внутренний тент палатки и пол (напольное покрытие). Поэтому внедрение в нормативную практику методик оценки устойчивости к воспламенению от воздействия малокалорийных источников зажигания, позволяющее ограничить использование легковоспламеняющихся материалов палаток, — весьма актуальная задача.

Одним из направлений обеспечения пожарной безопасности палаток является разработка методик испытаний и установление критериев оценки пожарной опасности с учетом воспроизведения теплового воздействия источника возгорания, приближенного к реальному, и возможности обеспечения огнезащиты материалов и композиций без потери ими основных эксплуатационных свойств.

Результаты и их обсуждение

Палатки представляют собой временное переносное жилище, поэтому важно обеспечить комфортные условия для проживания людей. Из чего следует, что к материалам для изготовления различных конструкций палаток предъявляется ряд

обязательных требований по их эксплуатационным характеристикам.

В частности, материалы палаток должны:

- не изменять форму под воздействием механических усилий;
- иметь защиту от попадания влаги;
- не впитывать воду и быстро сохнуть после дождя;
- обладать прочностными и теплосберегающими свойствами;
- быть устойчивыми к УФ-излучению;
- выдерживать ветровые нагрузки и перепады температуры;
- обеспечивать аэрацию внутреннего пространства;
- не выделять вредные для человека вещества;
- обладать грязе- и пылеустойчивостью;
- легко чиститься или стираться;
- не терять своих свойств в течение длительного времени.

Подавляющее большинство современных палаток имеет двухслойную конструкцию. Внешний слой — наружный тент палатки — навес для защиты от солнца и атмосферных осадков, как правило, состоит из тканого, синтетического или комбинированного полотна, натянутого на каркас. Внутренний слой — внутренний тент палатки — съемное изделие внутри наружного тента палатки, которое состоит из тканого, синтетического или комбинированного полотна, предназначенное для создания более комфортных условий пребывания людей, в том числе обеспечивающее воздухопроницаемость и дополнительную защиту от солнца или от атмосферных осадков.

Между этими двумя слоями обязательно существует промежуток около 10 см для теплоизоляции, влагозащиты и аэрации внутреннего пространства палатки.

Достаточно распространенным материалом для изготовления палаток остается брезентовое полотно, в том числе огнезащищенное (ОП) и с водоотталкивающей обработкой (ВО), выпускаемое в соответствии с ГОСТ 15530–93².

Применение огнезащищенных брезентовых тканей (в основном обработанных составами на основе водорастворимых солей неорганических кислот) не обеспечивает материалу устойчивости огнезащитного эффекта к воздействию воды, кроме того, уровень водоотталкивания у брезентовых палаток невелик даже при нанесении соответствующих составов. Палатки из брезента тяжелые, при намокании провисают и долго сохнут, портятся при длительном воз-

² ГОСТ 15530–93. Парусины и дунитки. Общие технические условия: принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации 21 октября 1993 г.

действию влаги, отсутствует устойчивость к ультрафиолетовому воздействию.

Более высокой прочностью обладают полиамидные ткани (капрон, нейлон), используемые для изготовления туристических палаток. Их отличает легкость, устойчивость к истиранию и другим механическим нагрузкам, низкая гигроскопичность. К их недостаткам можно отнести отсутствие стойкости к воздействию ультрафиолетового излучения и значительное растяжение при намокании.

Помимо всех преимуществ полиамидных тканей, ткани из полиэфирных волокон обладают высоким уровнем защиты от излучений солнца, не теряют форму во влажном виде и отличаются износостойкостью и долговечностью. Вполне естественно, что увеличенный набор преимуществ повышает стоимость материала, но именно такие палатки имеют широкое применение.

Для внутреннего тента палаток, как правило, используются материалы из хлопковых, полиамидных, полиэфирных волокон или их смесей.

Для верхнего тента туристических палаток, которые предполагается использовать в обычных условиях, могут использоваться материалы, имеющие показатель линейной плотности (Т) 200...250 текс, при условиях постоянно дождливой погоды показатель (Т) должен составлять не ниже 420 текс.

Для внутренней части используют более тонкие материалы (150...180 текс), а для напольного покрытия выбирают материал с показателем не менее 350 текс. При максимальных нагрузках для пола в больших палатках используют влагостойкие полотна с показателем 500...600 текс.

Иногда жесткость и прочность материалам палаток придают дополнительно введенные в текстильное плетение синтетические армирующие волокна, такие полотна имеют характерный рисунок в виде квадратов, ромбов или шестиугольников. В случае повреждения поверхности такая фактура предотвратит распространение разрыва.

Водонепроницаемость материала, ветрозащитные и грязеотталкивающие свойства материалов палаток обеспечиваются, как правило, специальными покрытиями или пропитками. Среди покрытий самыми распространенными являются полиуретановые, наносимые, как правило, на изнаночную сторону полотна. Указанный состав делает материал водостойким и ветронепроницаемым, а количество наносимого покрытия определяет, какое давление водяного столба может выдержать поверхность палатки, не пропуская влагу под тент.

Покрытие из поливинилхлорида наносится снаружи, его защитный слой выдерживает температурный режим от -40 до 60 °С, создает полную во-

донепроницаемость, улучшает формоустойчивость конструкции палатки.

Также для улучшения прочностных и водоотталкивающих свойств материалов применяются силиконовые покрытия, растворы химического соединения полиакрилонитрила, фторуглеродные составы, повышающие износостойкость и сохраняющие изделие от загрязнения.

Для сравнения — водостойкость полиэфирного полотна и нейлона не превышает 1000 мм водного столба, натурального хлопка — до 500 мм

Таким образом, проведенные аналитические исследования номенклатуры основных материалов для изготовления палаток и их свойств установили, что требуемые критерии комфортной эксплуатации конструкции палатки может обеспечить использование материалов определенного химического состава и плотности с возможно различными покрытиями и пропитками, армирующими элементами, улучшающими свойства изделия в целом.

Для исследований установления критериев и методов оценки пожарной опасности материалов палаток были проведены экспериментальные работы по определению комплекса параметров пожарной опасности некоторых видов текстильных и полимерных материалов, применяемых для наружных тентов различного функционального назначения и области применения (торговых палаток, воздухоопорных быстровозводимых конструкций, временных сооружений для проведения массовых мероприятий и т.п.), и материалов, потенциально допустимых для внутренних тентов палаток, произведен сравнительный анализ полученных результатов и обобщены данные, относящиеся к показателям пожарной опасности материалов

Для оценки свойств пожарной опасности материалов использовались стандартные методы испытаний по ГОСТ 12.1.044-89³ (п. 4.18–4.20) по определению, соответственно, коэффициента дымообразования $D_{ср}$, показателя токсичности продуктов горения $НСL_{50}$, индекса распространения пламени I и по ГОСТ Р 50810-95⁴ — устойчивости к воспламенению.

Результаты исследований параметров пожарной опасности текстильных и полимерных материалов представлены в табл. 1.

³ ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 12 декабря 1989 г. № 3683.

⁴ ГОСТ Р 50810-95. Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация: утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 29 августа 1995 г. № 454.

Таблица 1. Результаты исследований параметров пожарной опасности текстильных и полимерных материалов
Table 1. Results of research into fire hazard parameters of fabric and polymers

| Наименование материала, состав Material type, composition | Плотность, г/м ² Density, g/m ² | ГОСТ 12.1.044–89 GOST 12.1.044-89 | | | ГОСТ Р 50810–95 GOST R 50810 |
|---|---|--|--|-----|---|
| | | Д _{ср} , м ² /кг D _{av} , m ² /kg | HCL ₅₀ , г/м ³ HCL ₅₀ , g/m ³ | I | Устойчивость к воспламенению Resistance to ignition |
| <i>Материалы наружных тентов / Outer tent materials</i> | | | | | |
| Материал укрывной (тентовый) поливинилхлоридный (ТУ 8729-002-12720478-2013) Covering (tent) material made of polyvinyl chloride (Technical Instructions 8729-002-12720478-2013) | 500 | 610 (Д3) 610 (D3) | 38 (Т3) | >20 | Легко- воспламеняемый Highly flammable |
| Брезент ВО (парусина полульняная с водоупорной отделкой, ГОСТ 15530–93) VO tarpaulin (semi-linen canvas having shower proofing, GOST 15530-93) | 480 | 980 (Д3) 980 (D3) | 28 (Т3) | >20 | Легко- воспламеняемый Highly flammable |
| Ткань Oxford R/S (Китай), полиэфир 100 % с водоотталкивающей пропиткой и пленочное полиуретановое покрытие с изнаночной стороны Oxford R/S fabric (China), 100 % polyester, having water proofing and the polyurethane film on the inner side | 135 | 1100 (Д3) 1100 (D3) | 35 (Т3) | >20 | Легко- воспламеняемый Highly flammable |
| Ткань Nylon (Китай), полиамид 100 % с полиуретановым покрытием с изнаночной стороны Nylon fabric (China), 100 % polyamide having polyurethane coating on the inner side | 150 | 950 (Д3) 950 (D3) | 32 (Т3) | >20 | Легко- воспламеняемый Highly flammable |
| <i>Материалы внутренних тентов / Inner tent materials</i> | | | | | |
| Ткань хлопок/полиэфир — (60/40) Cotton/polyester fabric — (60/40) | 150 | 1050 (Д3) 1050 (D3) | 33 (Т3) | >20 | Легко- воспламеняемый Highly flammable |
| Ткань полиэфир 100 % 100 % polyester | 180 | 1100 (Д3) 1100 (D3) | 32 (Т3) | >20 | Легко- воспламеняемый Highly flammable |
| Ткань хлопок 100 % 100 % cotton fabric | 215 | 630 (Д3) 630 (D3) | 35 (Т3) | >20 | Легко- воспламеняемый Highly flammable |

Как следует из результатов экспериментальных исследований, достаточно широко используемые материалы для палаток весьма пожароопасны — они легковоспламеняемы, обладают высокой дымообразующей способностью, высоко опасны по токсичности продуктов горения, быстро распространяют пламя по поверхности.

Очевидно, что материалы для изготовления тентовых конструкций, представляя собой в основном определенные продукты органических соединений, не могут обеспечить пожаробезопасность по комплексу параметров стандартных методов испытаний по ГОСТ 12.1.044–89, ГОСТ Р 50810–95 без придания им огнезащитных свойств.

Анализ научной отечественной и зарубежной литературы за последние годы по разработке огнезащищенных различных по природе полимерных и текстильных композиций показал возможность

получения материалов пониженной горючести [1–14], однако проведение модификации полимеров может в значительной степени ухудшить эксплуатационные характеристики и не всегда одновременно обеспечить комплекс параметров пожарной опасности, соответствующий существующим требованиям.

Поэтому целесообразно ограничить для палаток только использование горючих материалов, легковоспламеняемых от малокалорийных источников зажигания, в том числе по признаку образования горящего расплава, а также по опасности выделения токсичных продуктов горения, в значительной степени влияющих на безопасную эвакуацию людей.

Немаловажное влияние на безопасность людей при возможном возгорании материалов палаток может оказывать токсичность летучих продуктов их термического разложения. Исходя из этого, целе-

сообразно разработать требования по токсичности продуктов горения материалов и обосновать выбор метода испытаний.

Как было отмечено выше, в отечественной практике оценка пожарной опасности материалов туристических палаток не разработана, несмотря на достаточно развитую имеющуюся методологическую базу проведения испытаний текстильных и полимерных материалов на пожарную опасность в зависимости от их функционального назначения и области применения [15–17].

Нормативная база ряда стран содержит обязательные требования, регламентирующие методы испытаний пожарной опасности и безопасное применение огнезащищенных материалов тентов и напольных покрытий палаток. Так, например, Международной ассоциацией промышленных тканей разработан и действует нормативный документ CPAI-84 [18], определяющий требования к материалам пониженной горючести, используемым в кемпинговых палатках, в том числе их специальную маркировку.

Практика оценки свойств пожарной опасности материалов для палаток существует в действующем международном стандарте ISO 5912–2020⁵, распространяющемся на ткани палаток для кемпинга (внешний и внутренний палаточный материал, а также пол палатки) и устанавливающим требования пожарной безопасности только по устойчивости к воспламенению от малокалорийных источников зажигания. Воспламеняемость внешнего и внутреннего палаточных материалов оценивается согласно стандарту ISO 6941–2004⁶ — процедура А (время зажигания 10 с, поверхностное воспламенение), а материала пола палатки в соответствии с ISO 6925:1982⁷. Аналогичные требования к испытаниям текстильных и полимерных материалов имеются и в национальных стандартах и нормативно-технической документации ряда стран⁸. Например, Канадским бюро стандартизации в 2020 г. разработаны требования к обеспечению пожарной безопас-

ности материалов, применяемых для изготовления палаток⁹.

Учитывая возможность определения устойчивости к воспламенению текстильных и полимерных материалов с использованием действующих национального ГОСТ Р 50810-95 и межгосударственного ГОСТ 32088-2013¹⁰ стандартов, на их основе и с использованием стандартного оборудования были разработаны модифицированные методики и классификационные критерии оценки пожарной опасности материалов палаток для детских лагерей летнего отдыха.

Текстильные и полимерные материалы наружных тентов для палаток относятся к устойчивым к воспламенению при выполнении следующих условий:

- отсутствует прогорание до кромок;
- отсутствует воспламенение хлопчатобумажной ваты;
- время остаточного пламенного горения составляет не более 5 с у любого из образцов, испытанных при поверхностном зажигании.

Текстильные и полимерные материалы внутренних тентов палаток относятся к устойчивым к воспламенению при выполнении следующих условий:

- отсутствует прогорание до кромок;
- отсутствует воспламенение хлопчатобумажной ваты;
- время остаточного пламенного горения составляет не более 5 с у любого из образцов, испытанных при зажигании с поверхности или кромки.

Материалы пола (покрытия пола) палаток относятся к устойчивым к воспламенению при выполнении следующих условий:

- время остаточного горения (тления) составляет не более 20 с;
- максимальная длина поврежденной части образца не превышает 30 мм.

Кроме того, текстильные и полимерные материалы для палаток не должны относиться к чрезвычайно опасным по токсичности продуктов горения материалов по ГОСТ 12.1.044–89.

Учитывая отечественный и зарубежный опыт использования текстильных и полимерных материалов пониженной воспламеняемости, из них можно

⁵ ISO 5912–2020. Camping tents — Requirements and test methods (МКС 97.200.30. Туристическое снаряжение и площадки для кемпинга : дата публикации — 1 июля 2020 г.).

⁶ ISO 6941–2004. Textile fabrics — Burning behaviour — Measurement of flame spread properties of vertically oriented specimens (МКС 13.220.40. Ткани. Характеристики горения. Определение способности к распространению пламени на вертикально ориентированных образцах : дата публикации — 1 мая 2004 г.).

⁷ ISO 6925:1982. Textile floor coverings — Burning behaviour — Tablet test at ambient temperature (МКС 13.220.40. Воспламеняемость, поведение материалов и продуктов при горении : дата публикации — 1 марта 1982 г.).

⁸ IFAI – CPAI-84. Specification for Flame-resistant Materials Used in Camping Tentage.

⁹ CAN/CGSB-182.1–2020. Flammability and labelling requirements for tents NATIONAL STANDARD OF CANADA ICS 97.200.30. Published April 2020 by the Canadian General Standards Board, Gatineau (Quebec) Canada K1A 1G6.

¹⁰ ГОСТ 32088–2013. Материалы текстильные. Покрытия и изделия ковровые напольные. Воспламеняемость. Метод определения и классификация: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 ноября 2013 г. № 44-2013).

выделить основные группы, приемлемые для использования в качестве материалов палаток: модифицированные термопластичные волокнообразующие полимеры (например, полиэфирные волокна), огнезащищенные материалы на основе хлопка или его смесей (методом поверхностной обработки) и различного рода полимерные покрытия на тканевой основе.

В табл. 2, 3 приведены экспериментальные данные по оценке устойчивости к воспламенению некоторых видов серийно выпускаемых огнезащищенных текстильных и полимерных материалов (которые возможно использовать для изготовления палаток) по разработанным методикам, а также определен их показатель токсичности продуктов горения по ГОСТ 12.1.044–89 (п. 20).

Для текстильных и полимерных материалов наружных и внутренних тентов палаток согласно разработанной методике фиксировались следующие факторы и параметры:

- наличие прогорания до кромок образца и воспламенения хлопчатобумажной ваты;
 - время остаточного пламенного горения при зажигании с поверхности или кромки $\tau_{c,r}$, с.
- Для материалов пола палаток фиксировались:
- время остаточного горения (тления) $\tau_{c,r}$, с;
 - максимальная длина поврежденной части образца l , мм.

Таким образом, исходя из представленных результатов испытаний, согласно разработанным методикам, выбранные материалы, которые используются или могут использоваться для изготовления

Таблица 2. Результаты исследований параметров пожарной опасности текстильных и полимерных материалов
Table 2. Results of research into fire hazard parameters of fabric and polymer materials

| Наименование материала Material type, composition | Плотность, г/м ² Density, g/m ² | Методики, согласно проекта ГОСТ Р GOST R (project) | | | ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.20) GOST 12.1.044-89 (art. 4.20) |
|---|--|---|----------------------------------|--------------------------------------|--|
| | | Прогорание до кромок Burnout through the fabric edge | Наличие каплепадения Dripping | $\tau_{c,r}$, с $\tau_{c,r}$, s | HCL ₅₀ , г/м ³ HCL ₅₀ , g/m ³ |
| Материалы наружного тента палатки Outer tent materials | | | | | |
| Тентовый материал (Финляндия) (основа — ПЭ, покрытие — ПВХ) Tent material (Finland) (polyester, PVC coating) | 550 | — | — | 0 | T3 (39) |
| Тентовый материал (Финляндия) (основа — ПЭ, комбинированное покрытие — ПВХ с полиуретановым составом) Tent material (Finland) (polyester, combined PVC coating containing polyurethane) | 1170 | — | — | 0 | T3 (39) |
| Тентовый материал на основе ткани из полиэфира с ПВХ покрытием (Франция) Tent material containing polyester and PVC coating (France) | 530 | — | — | 1 | |
| Брезент ОП (парусина полульняная с огнезащитной отделкой, ГОСТ 15530–93) OP tarpaulin (semi-linen canvas having flame-retardant finishing, GOST 15530-93) | 480 | — | — | 0 | T3 (29) |
| Ткань из арамидных волокон ТУ 13.20.31-105-00321069-2019 с маслостойкой пропиткой Fabric made of aramid fibers (Technical Instructions 13.20.31-105-00321069-2019) having water/oil proofing | 195 | — | — | 0 | T3 (32) |
| Ткань на основе арамидных волокон с нанесенным односторонним полимерным покрытием Fabric made of aramid fibers and one-sided polymer coating | 280 | — | — | 0 | T3 (35) |

| Наименование материала Material type, composition | Плотность, г/м ² Density, g/m ² | Методики, согласно проекта ГОСТ Р GOST R (project) | | | ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.20) GOST 12.1.044-89 (art. 4.20) |
|---|--|---|----------------------------------|--------------------------------------|--|
| | | Прогорание до кромки Burnout through the fabric edge | Наличие каплепадения Dripping | $\tau_{c,r}$, с $\tau_{c,r}$, s | HCL ₅₀ , г/м ³ HCL ₅₀ , g/m ³ |
| Материалы внутреннего тента палатки Inner tent materials | | | | | |
| Ткань (хлопок/полиэфир — 60/40 %) с огнезащитной отделкой Cotton/polyester fabric — 60/40 % having flame-retardant finishing | 150 | — | — | 0 | T3 (31) |
| Ткань хлопковая с огнезащитной отделкой Frall 160 Cotton fabric having Frall 160 flame-retardant finishing | 215 | — | — | 0 | T3 (28) |
| Ткань хлопок (95 %) + полиамид + антистатическая нить FRall Strong 240A (5 %) Fabric made of 95 % of cotton + 5 % of polyamide + FRall Strong 240A antistatic thread | 240 | — | — | 0 | T3 (28) |
| Ткань хлопчатобумажная с огнезащитной отделкой PROBAN Cotton fabric having PROBAN flame-retardant finishing | 165 | — | — | 0 | T3 (29) |
| Ткань модакрил, арамид, полиэфир + антистатическая нить Премьер Protect FR 250A Modacrylic, aramid, polyester fabric + Premiere Protect FR 250A antistatic thread | 250 | — | — | — | T3 (38) |

Таблица 3. Результаты исследований параметров пожарной опасности полимерных материалов для пола палаток**Table 3.** Results of research into fire hazard parameters of polymer materials used to make tent ground sheets

| Наименование материала Material type, composition | Плотность, г/м ² Density, g/m ² | Методики, согласно проекта ГОСТ Р Methodologies pursuant to draft GOST of Russia | | ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.20) GOST 12.1.044-89 (art. 4.20) |
|---|--|---|--------------------------------------|--|
| | | L_{\max} , мм L_{\max} , mm | $\tau_{c,r}$, с $\tau_{c,r}$, s | HCL ₅₀ , г/м ³ HCL ₅₀ , g/m ³ |
| Материал на основе ткани из полиэфира с ПВХ покрытием Material made of the polyester fabric having PVC coating | 500 | 10 | 3 | T3 (35) |
| Ткань Oxford 210D PU 4000 (Китай) — полиэфир (100 %) с водоотталкивающей пропиткой и пленочное полиуретановое покрытие с изнаночной стороны Oxford 210D PU 4000 fabric (China) made of 100 % polyester having water proofing and the polyurethane film on the inner side | 210 | 10 | 2 | T3 (31) |
| Ткань прорезиненная, ГОСТ Р 57204–2016 Rubbered fabric, GOST of Russia 57204–2016 | 280 | 8 | 1 | T3 (33) |

палаток, соответствуют установленным требованиям по устойчивости к воспламенению и показателю токсичности продуктов горения.

На основе разработанных методик и предложенных классификационных критериев оценки пожарной опасности материалов палаток проведена разработка проекта национального стандарта. Внедрение национального стандарта позволит:

- установить требования пожарной безопасности к материалам палаток детских лагерей палаточного типа;
- обеспечить единые подходы к разработке, изготовлению и оценке пожарной опасности материалов палаток.

Выводы

В Российской Федерации обеспечение пожарной безопасности детских палаточных лагерей регламентируется Правилами противопожарного режима, однако нормативные требования обеспечения пожарной безопасности применительно к материалам палаток отсутствуют.

Проведенный анализ номенклатуры основных материалов для изготовления палаток и их свойств установил, что требуемые эксплуатационные характеристики конструкций могут быть обеспечены с использованием материалов определенного

химического состава и плотности, с различными покрытиями и пропитками, а также армирующими элементами. Проведенные экспериментальные исследования комплекса параметров пожарной опасности ряда указанных материалов установили их горючесть, возможность быстрого распространения пламени по поверхности, высокую дымообразующую способность и опасность выделения токсичных продуктов горения.

Были установлены основные требования по пожарной безопасности для материалов внешнего, внутреннего тентов и пола (напольного покрытия) палатки, а именно: материалы не должны воспламеняться от малокалорийных источников возгорания и образовывать горящий расплав, а также не относиться к чрезвычайно опасным по показателю токсичности продуктов горения.

Результаты проведенных испытаний согласно разработанным методикам показали возможность выбора материалов для изготовления палаток детских палаточных лагерей, соответствующих установленным требованиям по устойчивости к воспламенению и показателю токсичности продуктов горения.

На основе разработанных методик и предложенных классификационных критериев оценки пожарной опасности материалов палаток проведена разработка проекта национального стандарта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончикжапов М.Б., Палецкий А.А., Куйбида Л.В., Шундрин И.К., Коробейничев О.П. Снижение горючести сверхвысокомолекулярного полиэтилена добавками трифенилфосфата // Физика горения и взрыва. 2012. Т. 48. № 5. С. 97–109. URL: https://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=120272&ARTICLE_ID=137063
2. Grover T., Khandual A., Luximon A. Fire protection: Flammability and textile fibres // Colourage. 2014. Vol. 61(5). Pp. 39–45+48.
3. Horrocks A.R. Flame retardant textile finishes // Textile Finishing. 2017. Pp. 69–127. DOI: 10.1002/9781119426790.ch2
4. Horrocks A.R., Sitpalan A., Chen Zhou, Kandola B. Flame retardant polyamide fibres: The challenge of minimising flame retardant additive contents with added nanoclays // Polymers. 2016. Vol. 8. No. 8. P. 288. DOI: 10.3390/polym8080288
5. Horrocks A.R., Subhash C. Handbook of technical textiles: Vol. 2. Technical textile applications. 2nd ed. Woodhead publishing, 2016. 452 p.
6. Global and China aramid fiber industry report, 2016–2020 // Global Information. URL: <https://www.giiresearch.com/report/rinc320244-global-china-aramid-fiber-industry-report.html> (дата обращения: 17.06.2017).
7. Horrocks A.R. Textile flammability research since 1980 — Personal challenges and partial solutions // Polymer Degradation and Stability. 2013. Vol. 98. Issue 12. Pp. 2813–2824. DOI: 10.1016/j.polyimdegstab.2013.10.004.
8. Handbook of fire resistant textiles / Selcen Kilinc F. (ed.). Woodhead Publishing Ltd., 2013. 704 p. DOI: 10.1016/c2013-0-16161-2.
9. Лаврентьева Е.П. Разработка научных основ и технологий производства текстильных материалов новых структур для специальной одежды и средств индивидуальной защиты : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2016. 413 с.
10. Hirschler M. Poly(vinyl chloride) and its fire properties // Fire and Materials. 2017. Vol. 41. No. 8. Pp. 993–1006. DOI: 10.1002/fam.2431

11. Бесшапошникова В.И. Научные основы и инновационные технологии огнезащиты текстильных материалов : монография. М. : Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина, 2018. 188 с.
12. Константинова Н.И., Зубкова Н.С. Влияние огнезамедлительных систем на пожарную опасность пластифицированного полиэфира // Химические волокна. 2019. № 6. С. 49–54.
13. Константинова Н.И., Еремина Т.Ю., Кузнецова Н.Н. Разработка огнезащищенных текстильных материалов, безопасных при соприкосновении с кожей человека // Химические волокна. 2019. № 2. С. 54–59.
14. Zhuo-er Suna, Yang Zhou. Discussion on fire-proof sealing technology and product // Procedia Engineering. 2016. Vol. 135. Pp. 643–647. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.131
15. Зубкова Н.С., Константинова Н.И. Огнезащита текстильных материалов. М. : Институт информационных технологий, 2008. 228 с.
16. Смирнов Н.В., Булгаков В.В., Етумян А.С., Константинова Н.И., Дудеров Н.Г. Результаты и перспективы научно-исследовательских работ по оценке пожарной опасности строительных текстильных материалов и эффективности средств огнезащиты // Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России. М. : ВНИИПО, 2012. С. 34–57.
17. Константинова Н.И., Смирнов Н.В., Шебеко А.Ю. К вопросу об оценке эффективности огнезащиты полимерных материалов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2018. № 7–8. С. 32–42. DOI: 10.18322/pvb.2018.27.7-8.32-42
18. Troitzsch J. Plastics flammability handbook. Principles, regulations, testing, and approval. 3rd ed. Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2004. 774 p.

REFERENCES

1. Gonchikzhapov M.B., Paletskiy A.A., Kuybida L.V., Shundrina I.K., Korobeynichev O.P. Reducing the flammability of ultra-high-molecular-weight polyethylene by triphenyl phosphite additives. *Fizika goreniya i vzryva* [Combustion, explosion, and shock waves]. 2012; 48(5):97-109. URL: https://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=120272&ARTICLE_ID=137063 (rus).
2. Grover T., Khandual A., Luximon A. Fire protection: Flammability and textile fibres. *Colourage*. 2014; 61(5):39-45+48.
3. Horrocks A.R. Flame retardant textile finishes. *Textile Finishing*. 2017; 69-127. DOI: 10.1002/9781119426790.ch2
4. Horrocks A.R., Sitpalan A., Chen Zhou, Kandola B. Flame retardant polyamide fibres: The challenge of minimising flame retardant additive contents with added nanoclays. *Polymers*. 2016; 8(8):288. DOI: 10.3390/polym8080288
5. Horrocks A.R., Subhash C. *Handbook of technical textiles: Vol. 2. Technical textile applications*. 2nd ed. Woodhead publishing, 2016; 452.
6. Global and China aramid fiber industry report, 2016-2020. *Global Information*. URL: <https://www.giiresearch.com/report/rinc320244-global-china-aramid-fiber-industry-report.html> (Accessed: June 17, 2017).
7. Horrocks A.R. Textile flammability research since 1980 — Personal challenges and partial solutions. *Polymer Degradation and Stability*. 2013; 98(12):2813-2824. DOI: 10.1016/j.polyimdegradstab.2013.10.004.
8. *Handbook of fire resistant textiles* / Selcen Kilinc F. (ed.). Woodhead Publishing Ltd., 2013; 704. DOI: 10.1016/c2013-0-16161-2.
9. Lavrent'eva E.P. *Development of scientific foundations and technologies for the production of textile materials of new structures for special clothing and personal protective equipment : dissertation ... doctor of technical sciences*. Moscow, 2016; 413. (rus).
10. Hirschler M. Poly(vinyl chloride) and its fire properties. *Fire and Materials*. 2017; 41(8):993-1006. DOI: 10.1002/fam.2431
11. Besshaposhnikova V.I. *Foundations and innovative technology for the fire protection of textile materials*. Moscow, 2018; 188. (rus).
12. Konstantinova N.I., Zubkova N.S. Influence of fire-retardant systems on fire hazard of plasticized polyester. *Fibre Chemistry*. 2019; 6:49-54.
13. Konstantinova N.I., Eremina T.Yu., Kuznetsova N.N. Development of fire-proof textile materials that are safe in contact with human skin. *Fibre Chemistry*. 2019; 2:54-59.
14. Zhuo-er Suna, Yang Zhou. Discussion on fire-proof sealing technology and product. *Procedia Engineering*. 2016; 135:643-647. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.131

15. Zubkova N.S., Konstantinova N.I. *Fire protection of textile materials*. Moscow, 2008; 228. (rus).
16. Smirnov N.V., Bulgakov V.V., Etumyan A.S., Konstantinova N.I., Duderov N.G. Results and prospects of research works on fire hazard assessment of construction textile materials and effectiveness of fire protection means. *Jubilee collection of works of the Federal state budgetary institution VNIPO EMERCOM of Russia Moscow*. Moscow, VNIPO, 2012; 34-57. (rus).
17. Konstantinova N.I., Smirnov N.V., Shebeko A.Yu. Revisiting the assessment of polymeric materials fire protection efficiency. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2018; 7-8:32-42. DOI: 10.18322/pvb.2018.27.7-8.32-42 (rus).
18. Troitzsch J. *Plastics flammability handbook. Principles, regulations, testing, and approval*. 3rd ed. Munich, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2004; 774.

Поступила 09.10.2020, после доработки 12.11.2020; принята к публикации 23.11.2020
Received October 9, 2020; Received in revised form November 12, 2020; Accepted November 23, 2020

Информация об авторах

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 чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; Scopus Author ID: 57195464313; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.ru;

ЗУБАНЬ Андрей Владимирович, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; Scopus Author ID: 55847911600; ResearcherID: AAB-9575-2019; ORCID: 0000-0002-7799-2058; e-mail: avzuban@mail.ru

ПОЕДИНЦЕВ Евгений Александрович, старший научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; РИНЦ ID: 760768; ORCID: 0000-0003-2769-0278; e-mail: evgeny@poedintsev.ru

ГОЛОВ Николай Витальевич, канд. техн. наук, научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; РИНЦ ID: 866179; ORCID: 0000-0002-8817-3445; e-mail: nv_golov@mail.ru

Information about the authors

Nataliya I. KONSTANTINOVA, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Russian Federation; Scopus Author ID: 57195464313; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

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

Evgeniy A. POEDINTSEV, Senior 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, Russian Federation; ID RISC: 760768; ORCID: 0000-0003-2769-0278; e-mail: evgeny@poedintsev.ru

Nikolay V. GOLOV, Cand. Sci. (Eng.), 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, Russian Federation; ID RISC: 866179; ORCID: 0000-0002-8817-3445; e-mail: nv_golov@mail.ru

Применение потенциала горючести и эксергетического показателя для оценки пожарной опасности грузов железнодорожного транспорта

© Л.А. Королева¹ ✉, А.Г. Хайдаров², Г.К. Ивахнюк², Ю.Е. Актерский¹

- 1 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)
- 2 Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет) (Россия, 190013, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 26)

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблемы обеспечения пожарной безопасности при транспортировке опасных грузов (ОГ) на железнодорожном транспорте не решены в полном объеме. Отмечается недостаточная объективность оценки горючести веществ и материалов, отсутствие комплексного показателя, позволяющего с единых методологических позиций решать задачи повышения энергетической эффективности и обеспечения экологической и пожарной безопасности.

Цель настоящей работы — обоснование возможности и преимуществ эксергетического подхода для оценки пожарной опасности ОГ на железнодорожном транспорте.

Материалы и методы. Применение потенциала горючести как комплексного показателя пожарной опасности грузов имеет ряд ограничений. Перспективным для оценки и прогнозирования пожарной опасности является эксергетический подход. Обоснование целесообразности его применения проведено на примере существующих и перспективных грузов железнодорожного транспорта.

Результаты и их обсуждение. Были установлены зависимости показателей пожарной опасности (температуры вспышки, пределов распространения пламени, температуры самовоспламенения, теплоты сгорания) компонентов жидких и газообразных топлив от химической эксергии.

Изменение физической эксергии при разливе и горении изучали на примере сжиженного природного газа и сжиженных углеводородных газов различного состава. Получены модели изменения физической эксергии рассматриваемых продуктов в зависимости от температуры и давления.

Для самовозгорающихся грузов определены зависимости физической эксергии от энергии активации, критической температуры окружающей среды, теплоемкости самонагревающихся материалов. Установлено влияние коэффициента теплопроводности и влажности на значение эксергии.

Определены изменения эксергии в зависимости от элементного состава твердых коммунальных отходов, зольности, содержания летучих веществ и фиксированного углерода. Наибольшими значениями рассматриваемого показателя обладают полимеры и резины.

Для оценки пожарной и экологической опасности веществ и материалов введен эксергетический показатель, который положен в основу классификации грузов.

Выводы. Применение эксергетического показателя позволяет повысить объективность оценки, дает возможность учитывать в единой системе технико-экономические, экологические критерии и показатели пожарной опасности.

Ключевые слова: опасные грузы; углеводороды; сжиженные газы; самовозгорающиеся грузы; твердые коммунальные отходы; эксергия; теплота сгорания

Для цитирования: Королева Л.А., Хайдаров А.Г., Ивахнюк Г.К., Актерский Ю.Е. Применение потенциала горючести и эксергетического показателя для оценки пожарной опасности грузов железнодорожного транспорта // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 1. С. 16–31. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.16-31

✉ Королева Людмила Анатольевна, e-mail: lyudamil@mail.ru

Using the flammability potential and the exergy indicator to assess the fire hazard of the rail transportation of cargoes

© Lyudmila A. Koroleva¹ ✉, Andrey G. Khaydarov², Grigoriy K. Ivakhnyuk², Yuriy E. Akterskiy¹

- 1 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)
- 2 Saint-Petersburg State Institute of Technology (Moskovskiy Avenue, 26, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Problems of fire safety of dangerous goods (DG) in the process of their rail transportation have not been fully resolved. The flammability assessment of substances and materials is insufficiently impartial; an integrated indicator, that allows to apply a consolidated methodological standpoint to improve their energy efficiency and environmental/fire safety is unavailable.

The purpose of this work is to substantiate the feasibility and advantages of the exergy approach to assessing the fire hazard of the exhaust gas emitted from railroad transport.

Materials and methods. The use of the flammability potential as an integrated indicator of the fire hazard of cargoes has a number of limitations. The exergy approach has a strong potential if applied to the assessment and prediction of fire hazards. Present-day and potential railroad cargoes serve as examples that substantiate the feasibility of this approach.

Results and its discussion. Dependences between fire hazard indicators (flash points, flame propagation limits, auto-ignition points, heat of combustion) demonstrated by the components of liquid and gaseous fuels and the chemical exergy were identified.

A study of changes in the physical exergy triggered by spills and combustion were illustrated by liquefied natural gas and liquefied hydrocarbon gases having various compositions. Physical exergy change patterns depending on the temperature and pressure of the above products were developed.

For self-ignitable cargoes, dependences between the physical exergy and activation energy, critical ambient temperature, and heat capacity of self-heating materials were identified. The influence of thermal conductivity and humidity coefficients on the exergy value is established.

Exergy changes were determined depending on the elemental composition of solid municipal waste, ash, volatile matter and fixed carbon content. Polymers and rubbers have the highest values of this indicator.

An exergy indicator was introduced to assess fire and environmental hazards of substances and materials; it serves as the basis for the classification of cargoes.

Conclusions. The use of the exergy indicator allows to increase the objectivity of assessments and take account of technical, economic, environmental criteria and indicators of fire hazards within an integrated system.

Keywords: dangerous goods; hydrocarbons; liquefied gases; cargoes liable to spontaneous combustion; solid municipal waste (SMW); exergy; heat of combustion

For citation: Koroleva L.A., Khaydarov A.G., Ivakhnyuk G.K., Akterskiy Yu.E. Using the flammability potential and the exergy indicator to assess the fire hazard of the rail transportation of cargoes. *Pozharovzryvbezopasnost'/ Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(1):16-31. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.16-31 (rus).

✉ Lyudmila Anatolyevna Koroleva, e-mail: lyudamil@mail.ru

Введение

Обеспечению безопасности при перевозке опасных грузов (ОГ) на железнодорожном транспорте посвящено значительное число работ [1–6]. Вовлечение в хозяйственную деятельность большого количества ресурсов, эксплуатация сложных технических систем, рост потребления энергии и другие мероприятия приводят к увеличению объемов и номенклатуры перевозимых ОГ. Анализ статистических данных свидетельствует о нерешенности вопросов обеспечения пожарной безопасности при их транспортировке. Так, в ноябре 2012 г. потерпел крушение товарный поезд в Мьянме, вспыхнул пожар, при этом 25 человек погибли и 40 получили травмы. В июле 2013 г. в г. Ляк-Мегантик (Канада) сошел с рельсов состав, сформированный из 73 цистерн с нефтью. Пожар тушили 2 дня, погибло 47 человек. В ноябре 2017 г. недалеко от г. Лобуди (Демократическая Республика Конго) загорелись вагоны поезда, перевозившего легковоспламеняющиеся и горючие вещества. Безвозвратные потери в результате железнодорожного инцидента составили 30 человек. Особенности железнодорожного транспорта определяют сложности тушения таких пожаров, возможность распространения горения

на большие площади, массовой гибели людей и возникновения значительного ущерба.

Перспективным для повышения безопасности является системный подход, основанный на получении и анализе данных, характеризующих пожарную опасность, прогнозировании их изменений, определении основных характеристик систем предотвращения пожара и пожарной защиты [6–9]. Его реализация предъявляет высокие требования к извлечению и систематизации исходной информации, оценке показателей пожарной опасности, которые применяются не только для целей классификации, но и являются исходными данными для инженерных расчетов [9, 10].

Определение горючести веществ и материалов, расчет показателей пожарной опасности представляют собой цели значительного количества исследований [9, 11–14]. Группа горючести определена как один из основных показателей оценки пожарной опасности веществ.

Значительный вклад в научную разработку проблем пожарной безопасности внес В.Т. Монахов. Выделив три группы горючести, он предложил классификацию веществ и материалов (с некоторыми изменениями она вошла в Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях

пожарной безопасности)¹⁾, рассмотрение которой позволяет сделать вывод, что «горючесть материалов должна зависеть от этапа их жизненного цикла», однако «не определено, каким образом она может при этом изменяться» [12]. Отмечается недостаточная объективность оценки горючести веществ и материалов [12].

Кроме того, вопросы определения пожарной опасности веществ и материалов на железнодорожном транспорте рассматриваются отдельно от задач повышения энергетической эффективности и снижения выбросов в окружающую среду, что определяется наличием методологических проблем, затрудняющих учет различных показателей в единой системе [15, 16].

Цель настоящей работы — обоснование возможности и преимуществ эксергетического подхода для оценки пожарной опасности ОГ на железнодорожном транспорте. Для ее достижения были решены следующие задачи:

- проведен анализ применения потенциала горючести как характеристики горючести веществ;
- установлены связи между эксергией и показателями пожаровзрывоопасности для грузов на железнодорожном транспорте;
- обоснована возможность учета теплофизических условий возникновения горения через эксергию;
- на основании проведенных расчетно-экспериментальных исследований определены условия и закономерности изменения эксергии;
- выявлены преимущества эксергетического подхода для оценки пожарной опасности ОГ на железнодорожном транспорте.

Материалы и методы

Для характеристики горючести вещества В.Т. Монаховым был введен комплексный показатель пожарной опасности — потенциал горючести ΔP_r , представляющий собой избыточную или недостаточную энергию, заключенную в горючей системе [9]. Понятие потенциала горючести основывается на термодинамическом рассмотрении предельных по горючести газовых смесей и связано со значениями энтальпий компонентов смеси при исходной температуре и температуре горения.

Использование величины ΔP_r позволяет:

1) дифференцировать смеси на горючие $\Delta P_r < 0$ и негорючие $\Delta P_r > 0$. $\Delta P_r = 0$ соответствует предельной по горючести смеси [9];

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) определять состав смесей, обладающих определенной горючестью или заданной огнетушащей или флегматизирующей эффективностью;

3) рассчитывать нижний предел воспламенения;

4) определять огнетушащие и флегматизирующие концентрации.

Однако использование потенциала горючести имеет ряд ограничений:

- его численное значение изменяется в зависимости от температуры горения, которая не является одинаковой для различных смесей;
- не учитываются возможные химические изменения флегматизатора; флегматизирующая способность определяется только изменением его энтальпии при нагревании;
- величина ΔP_r зависит от определяющего размера сосуда, в котором распространяется горение. Основной причиной является влияние диаметра сосуда на адиабатическую температуру горения предельной по горючести смеси;
- имеются трудности расчета ΔP_r для жидкостей и твердых веществ, что обусловлено особенностями их горения и невозможностью точно определить зависимость потенциала горючести от параметров состояния веществ в конденсированном состоянии;
- применение потенциала горючести не позволяет сравнивать процессы и технологии с точки зрения энергоэкологической эффективности и экологической безопасности.

Кроме того, в работе [13] отмечается, что «понятие потенциала горючести — эмпирическое, поэтому не всегда представляется возможным четко определить область применимости методов, основанных на его использовании».

Перспективным для оценки и прогнозирования пожарной опасности является эксергетический подход [15, 16]. Имеется значительное количество работ, посвященных исследованию эксергетической эффективности и экологической безопасности технических систем и процессов [17–20]. Пожарная опасность при этом не рассматривалась. Применение эксергетического подхода при комплексном решении вопросов, направленных на повышение энергетической эффективности процессов, снижение экологической и пожарной опасности, создает условия для преодоления методологических проблем при необходимости учета различных показателей в единой системе.

При этом ключевым является понятие эксергии, предложенное югославским ученым З. Рантом в 1953 г. для обозначения технической работоспособности [21, 22]. Современное определение закреплено в информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям ИТС 48–2017

«Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности».

Эксергия e является аналогом энергии Гиббса G , внешне отличается от нее только температурой [21–23]:

$$e = \Delta H - T_0 \Delta S,$$

где e — удельная эксергия вещества, кДж/моль;

ΔH — изменение энтальпии, кДж/моль;

ΔS — изменение энтропии, кДж/(моль·К);

T_0 — температура окружающей среды, К.

Эксергия является функцией параметров системы и параметров окружающей среды. Она включает физическую, химическую, кинетическую и потенциальную составляющие. Для большинства реальных технических систем кинетическая и потенциальная эксергия малы, не имеют практического значения [21, 23] и к анализу в данном исследовании не принимались.

Эксергия рассматривается как мера отклонения параметров состояния термодинамической системы от условий окружающей среды. Физическая эксергия учитывает различия в давлении (механическая составляющая) и температуре (термическая составляющая), химическая определяет отклонения в составе при температуре и давлении окружающей среды и подразделяется на реакционную и концентрационную.

Обоснование целесообразности применения эксергетического метода для оценки и прогнозирования пожарной опасности было проведено на примере существующих и перспективных грузов железнодорожного транспорта, относящихся к классам 2–4 и 9 (по ГОСТ 19433–88²).

Расчеты физической и химической эксергии проводились следующим образом.

1. Для моделирования процессов, связанных с авариями при транспортировке опасных грузов классов 2 и 3, была использована программа HYSYS, включающая различные методы расчета термодинамических свойств и обеспечивающая надежные результаты для расчетов смесей углеводородов, используемых в нефтехимической и химической промышленности. Нами предложен программный комплекс, встроенный в программный пакет HYSYS с помощью технологии Active X. Его применение позволяет проводить расчеты физической $e_{\text{физ}}$ и химической $e_{\text{хим}}$ эксергии, эксергетического коэффициента полезного действия и определять низшую теплоту сгорания грузов железнодорожного транспорта [24].

² ГОСТ 19433–88. Грузы опасные. Классификация и маркировка: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 августа 1988 г. № 2957.

2. Для определения эксергии самовозгорающихся твердых веществ (классы 4 и 9) были выбраны термореактивные пористые и дисперсные материалы (травяная, крилевая, рыбная, ржаная, кормовая мука, дрожжи, древесные опилки и др.). Учитывая равенство давлений внутри скопления вещества и в окружающей среде, расчеты физической эксергии $e_{\text{физ}}$ проводили по формуле [25]:

$$e_{\text{физ}} = C_p \left[(T - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right], \quad (1)$$

где T_0 — температура окружающей среды, К;

T — температура нагрева вещества, К, принималась равной температуре тления $T_{\text{тл}}$ и самовоспламенения $T_{\text{св}}$;

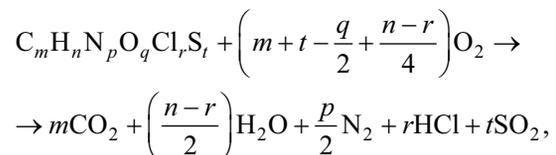
C_p — удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К).

3. Расчет критической температуры окружающей среды, при которой, возможно, самонагревание самовозгорания веществ и материалов», разработанной ВНИИПО³. Исходные данные для расчета: энергию активации, температуры компенсации, тления, самовоспламенения и другие показатели пожарной опасности — определяли по данным, представленным в [26–28].

4. В качестве перспективного груза для железнодорожного транспорта были рассмотрены твердые коммунальные отходы (ТКО).

Основываясь на информации по морфологическому составу [16, 29, 30], расчет теплоты сгорания и химической эксергии общей массы ТКО и их отдельных фракций проводили в соответствии с моделью прогнозирования, предложенной F. Eboh, P. Ahlström, T. Richards [16, 29].

В основе расчетов лежит предположение, что 1 кг отходов (общая формула $C_m H_n N_p O_q Cl_r S_t$) подвергается полному сгоранию в соответствии с реакцией:



где m, n, p, q, r, t — количество атомов соответственно углерода C, водорода H, азота N, кислорода O, хлора Cl и серы S, принимаемое в соответствии с данными [29, 31].

Принято, что параметры окружающей среды (температура и давление) при перевозке отходов составляют $T_0 = 298,15$ К и $P_0 = 101,325$ кПа.

³ Методика определения теплового самовозгорания веществ и материалов: согласована с ГУГПС МЧС России письмом № 18/2/848 от 2 апреля 2004 г. и утверждена ФГУ ВНИИПО МЧС России 21 апреля 2004 г.

Результаты и их обсуждение

Были найдены зависимости от химической энергии $e_{\text{хим}}$, кДж/моль, показателей пожарной опасности: температуры вспышки $T_{\text{всп}}$, нижнего и верхнего концентрационного предела распространения пламени (соответственно НКПП и ВКПП), нижнего

и верхнего температурного предела распространения пламени (соответственно НТПР и ВТПР), температуры самовоспламенения $T_{\text{св}}$, нижней теплоты сгорания $Q_{\text{н}}$. Определены величины достоверности аппроксимации R^2 . Объектами исследования выбраны вещества — компоненты жидких, паро- и газообразных топлив (табл. 1).

Таблица 1. Регрессионные уравнения для расчета показателей пожарной опасности компонентов жидких и газообразных топлив
Table 1. Regression equations for calculating values of fire hazard indicators for components of liquid and gaseous fuels

| Номер No. | Показатель пожарной опасности Fire hazard indicator | Уравнение регрессии Regression equation | R^2 |
|---|--|--|-------|
| Алканы / Alkanes | | | |
| 1 | $T_{\text{всп}}$ Flash point | $T_{\text{всп}} = 0,03e_{\text{хим}} - 137,76$ $T_{\text{flash point}} = 0,03e_{\text{chem}} - 137,76$ | 0,98 |
| 2 | НКПП / Lower concentration limit of flame propagation | НКПП = $3751,13e_{\text{хим}}^{-0,97}$ Lower concentration limit of flame propagation = $3751,13e_{\text{chem}}^{-0,97}$ | 0,99 |
| 3 | ВКПП / Upper concentration limit of flame propagation | ВКПП = $692,45e_{\text{хим}}^{-0,55}$ Upper concentration limit of flame propagation = $692,45e_{\text{chem}}^{-0,55}$ | 0,95 |
| 4 | НТПР Lower temperature limit of flame propagation | НТПР = $-1,19 \cdot 10^{-6} e_{\text{хим}}^2 + 0,04 e_{\text{хим}} - 174,00$ Lower temperature limit of flame propagation = $-1,19 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 + 0,04 e_{\text{chem}} - 174,00$ | 0,99 |
| 5 | ВТПР Upper temperature limit of flame propagation | ВТПР = $-1,59 \cdot 10^{-6} e_{\text{хим}}^2 + 0,05 e_{\text{хим}} - 173,00$ Upper temperature limit of flame propagation = $-1,59 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 + 0,05 e_{\text{chem}} - 173,00$ | 0,99 |
| 6 | $T_{\text{св}}$ Auto-ignition temperature | $T_{\text{св}} = 4,00 \cdot 10^{-6} e_{\text{хим}}^2 - 0,09 e_{\text{хим}} + 637,01$ Auto-ignition temperature $T_{\text{ai}} = 4,00 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 - 0,09 e_{\text{chem}} + 637,01$ | 0,74 |
| Алканы и циклоалканы / Alkanes и cycloalkanes | | | |
| 7 | $T_{\text{всп}}$ Flash point | $T_{\text{всп}} = 1,35 \cdot 10^{-6} e_{\text{хим}}^2 - 0,04 e_{\text{хим}} + 171,00$ $T_{\text{flash point}} = 1,35 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 - 0,04 e_{\text{chem}} + 171,00$ | 0,99 |
| 8 | НКПП / Lower concentration limit of flame propagation | НКПП = $5628,00e_{\text{хим}}^{-1,02}$ Lower concentration limit of flame propagation = $5628,00e_{\text{chem}}^{-1,02}$ | 0,99 |
| 9 | ВКПП / Upper concentration limit of flame propagation | ВКПП = $1030,00e_{\text{хим}}^{-0,60}$ Upper concentration limit of flame propagation = $1030,00e_{\text{chem}}^{-0,60}$ | 0,97 |
| 10 | НТПР Lower temperature limit of flame propagation | НТПР = $-6,27 \cdot 10^{-7} e_{\text{хим}}^2 + 0,03 e_{\text{хим}} - 135,00$ Lower temperature limit of flame propagation = $-6,27 \cdot 10^{-7} e_{\text{chem}}^2 + 0,03 e_{\text{chem}} - 135,00$ | 0,99 |
| 11 | ВТПР Upper temperature limit of flame propagation | ВТПР = $-5,85 \cdot 10^{-7} e_{\text{хим}}^2 + 0,03 e_{\text{хим}} - 113,00$ Upper temperature limit of flame propagation = $-5,85 \cdot 10^{-7} e_{\text{chem}}^2 + 0,03 e_{\text{chem}} - 113,00$ | 0,99 |
| 12 | $T_{\text{св}}$ Auto-ignition temperature | $T_{\text{св}} = 6,83 \cdot 10^{-6} e_{\text{хим}}^2 - 0,11 e_{\text{хим}} + 632,00$ Auto-ignition temperature $T_{\text{ai}} = 6,83 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 - 0,11 e_{\text{chem}} + 632,00$ | 0,75 |
| Ароматические / Aromas | | | |
| 13 | $T_{\text{всп}}$ Flash point | $T_{\text{всп}} = -1,46 \cdot 10^{-6} e_{\text{хим}}^2 + 0,04 e_{\text{хим}} - 130,00$ $T_{\text{flash point}} = -1,46 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 + 0,04 e_{\text{chem}} - 130,00$ | 0,93 |
| 14 | НКПП Lower concentration limit of flame propagation | НКПП = $2,88 \cdot 10^{-8} e_{\text{хим}}^2 - 5,24 \cdot 10^{-4} e_{\text{хим}} + 2,90$ Lower concentration limit of flame propagation = $2,88 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 - 5,24 \cdot 10^{-4} e_{\text{chem}} + 2,90$ | 0,98 |

| Номер No. | Показатель пожарной опасности Fire hazard indicator | Уравнение регрессии Regression equation | R ² |
|---|--|--|----------------|
| 15 | ВКПР Upper concentration limit of flame propagation | ВКПР = $1,94 \cdot 10^{-7} e_{\text{ХИМ}}^2 - 2,58 \cdot 10^{-3} e_{\text{ХИМ}} + 14,20$ Upper concentration limit of flame propagation = $1.94 \cdot 10^{-7} e_{\text{chem}}^2 - 2.58 \cdot 10^{-3} e_{\text{chem}} + 14.20$ | 0,81 |
| 16 | НТПР Lower temperature limit of flame propagation | НТПР = $-4,94 \cdot 10^{-6} e_{\text{ХИМ}}^2 + 0,07 e_{\text{ХИМ}} - 189,00$ Lower temperature limit of flame propagation = $-4.94 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 + 0.07 e_{\text{chem}} - 189.00$ | 0,96 |
| 17 | ВТПР Upper temperature limit of flame propagation | ВТПР = $-3,58 \cdot 10^{-6} e_{\text{ХИМ}}^2 + 0,06 e_{\text{ХИМ}} - 157,00$ Upper temperature limit of flame propagation = $-3.58 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 + 0.06 e_{\text{chem}} - 157.00$ | 0,93 |
| Карбоциклические (циклоалканы и ароматические) / Carbocyclic (cycloalkanes and aromatic) | | | |
| 18 | T _{всп} Flash point | T _{всп} = $7,25 \cdot 10^{-6} e_{\text{ХИМ}}^2 + 0,10 e_{\text{ХИМ}} - 276,00$ T _{flash point} = $7.25 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 + 0.10 e_{\text{chem}} - 276.00$ | 0,79 |
| 19 | НКПР Lower concentration limit of flame propagation | НКПР = $4,08 \cdot 10^{-8} e_{\text{ХИМ}}^2 - 6,93 \cdot 10^{-4} e_{\text{ХИМ}} + 3,40$ Lower concentration limit of flame propagation = $4.08 \cdot 10^{-8} e_{\text{chem}}^2 - 6.93 \cdot 10^{-4} e_{\text{chem}} + 3.40$ | 0,70 |
| 20 | ВКПР Upper concentration limit of flame propagation | ВКПР = $3,31 \cdot 10^{-7} e_{\text{ХИМ}}^2 - 4,08 \cdot 10^{-3} e_{\text{ХИМ}} + 18,30$ Upper concentration limit of flame propagation = $3.31 \cdot 10^{-7} e_{\text{chem}}^2 - 4.08 \cdot 10^{-3} e_{\text{chem}} + 18.30$ | 0,76 |
| 21 | НТПР Lower temperature limit of flame propagation | НТПР = $-0,58 \cdot 10^{-6} e_{\text{ХИМ}}^2 + 0,04 e_{\text{ХИМ}} - 143,00$ Lower temperature limit of flame propagation = $-0.58 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 + 0.04 e_{\text{chem}} - 143.00$ | 0,74 |
| 22 | ВТПР Upper temperature limit of flame propagation | ВТПР = $-0,92 \cdot 10^{-6} e_{\text{ХИМ}}^2 + 0,04 e_{\text{ХИМ}} - 133,0$ Upper temperature limit of flame propagation = $-0.92 \cdot 10^{-6} e_{\text{chem}}^2 + 0.04 e_{\text{chem}} - 133.0$ | 0,72 |
| Углеводороды (алканы, алкены, алкины, карбоциклические) / Hydrocarbons (alkanes, alkenes, alkynes, carbocyclic) | | | |
| 23 | T _{всп} Flash point | T _{всп} = $0,03 e_{\text{ХИМ}} - 131,08$ T _{flash point} = $0.03 e_{\text{chem}} - 131.08$ | 0,86 |
| 24 | Q _н Lower heat of combustion | Q _н = $0,94 e_x + 66,70$ Lower heat of combustion = $0.94 e_x + 66.70$ | 0,99 |

Изменение физической эксергии изучали на примере сжиженного природного газа (СПГ) (ГОСТ Р 57431-2017⁴) и сжиженных углеводородных газов (СУГ) (ГОСТ 27578-2018⁵) различного состава, транспортирующихся при условиях, отличных от условий окружающей среды (температура и давление) (рис. 1).

Расчеты, проведенные в программе HYSYS, показали, что эксергетический потенциал для СУГ выше, чем для СПГ. При разгерметизации оборудова-

ния физическая эксергия СПГ уменьшается быстрее, что определяется особенностями его рассеивания в атмосфере. Точка резкого падения физической эксергии соответствует температурам кипения рассматриваемых продуктов при атмосферном давлении (рис. 2).

Сравнительная оценка пожарной опасности СУГ и СПГ показала, что природный газ обладает более высокими значениями T_{св}, минимальной энергии зажигания, НКПР, меньшими величинами нормальной скорости распространения пламени и максимального давления взрыва. Эти данные хорошо коррелируют с полученными значениями эксергии. Химическая эксергия СУГ примерно в 2,5–3 раза выше аналогичного показателя СПГ.

⁴ ГОСТ Р 57431–2017 (ИСО 16903:2015). Газ природный сжиженный. Общие характеристики : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 марта 2017 г. № 219-ст.

⁵ ГОСТ 27578–2018. Газы углеводородные сжиженные для автомобильного транспорта. Технические условия : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 27 июля 2018 г. № 110-П).

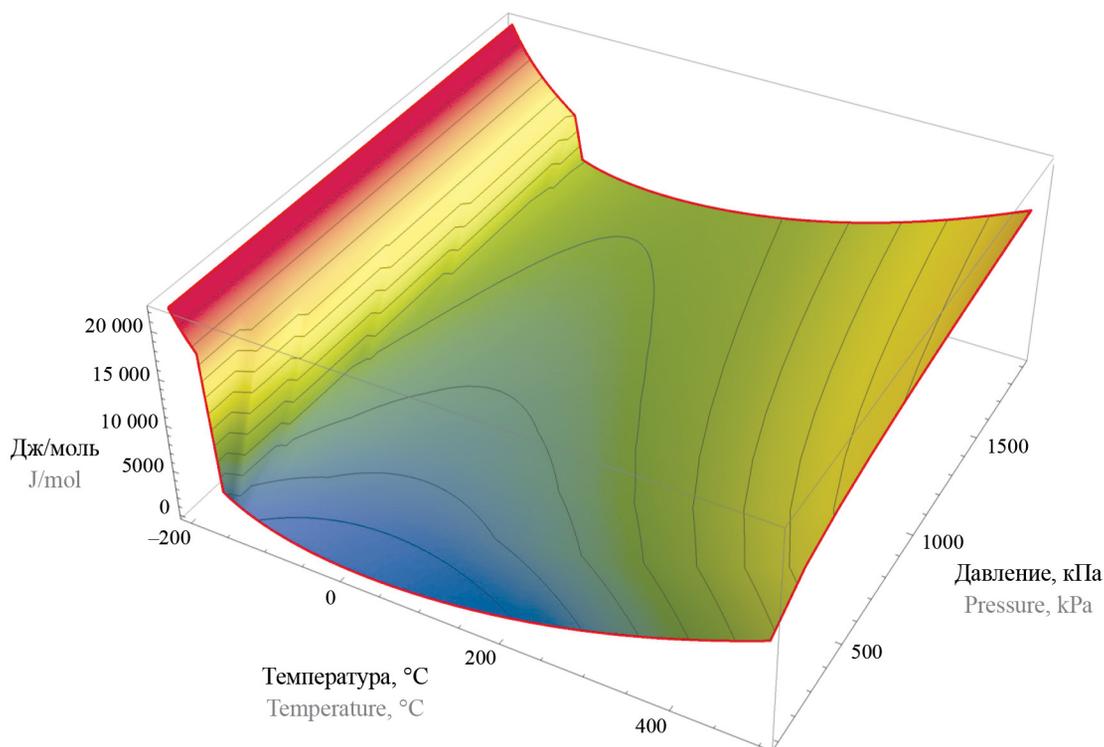


Рис. 1. Изменение физической эксергии, Дж/моль, сжиженных газов в зависимости от температуры и давления
Fig. 1. Change in physical exergy, J/mol, of liquefied gases depending on temperature and pressure

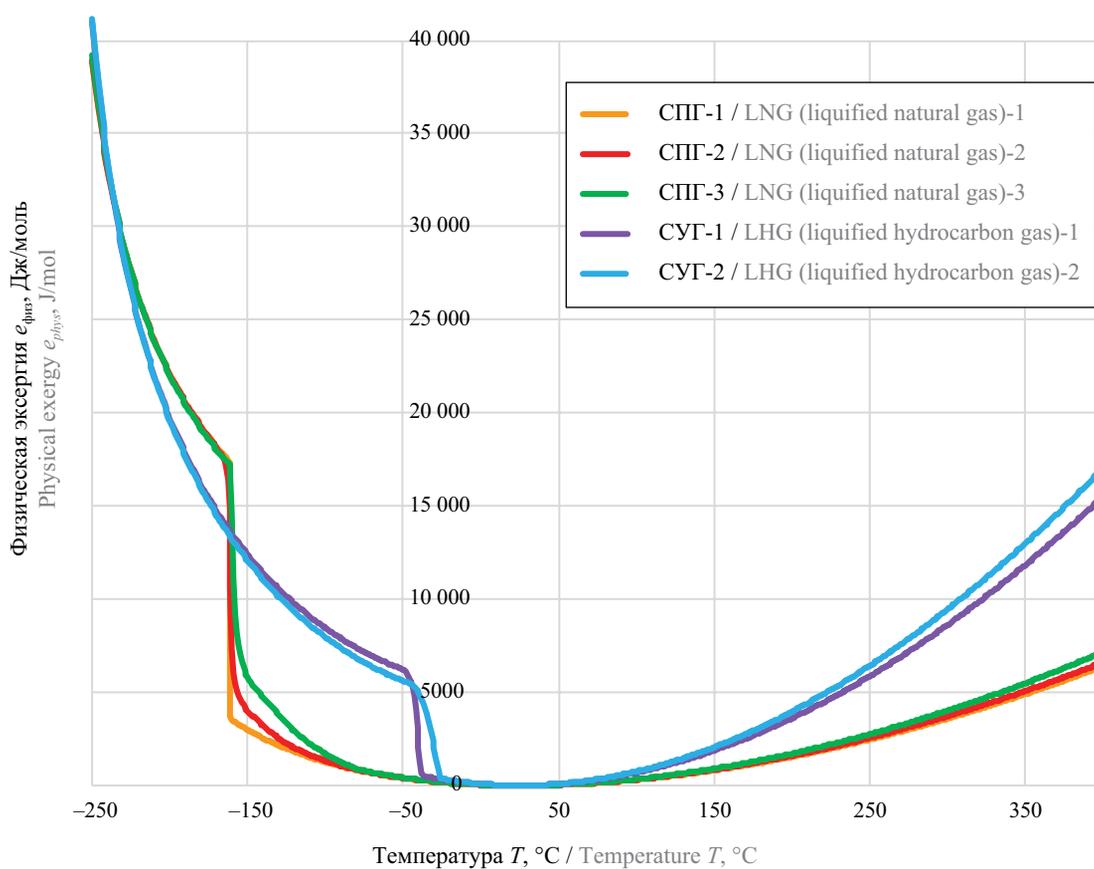


Рис. 2. Зависимость физической эксергии от температуры для СПГ и СУГ
Fig. 2. Dependence of physical exergy on temperature for LNG and LHG

Для самовозгорающихся грузов по формуле (1) произведен расчет физической эксергии, кДж/кг, и определены ее изменения (табл. 2). С уменьшением энергии активации значение рассматриваемой величины возрастает. С ростом критической температуры окружающей среды эксергия падает.

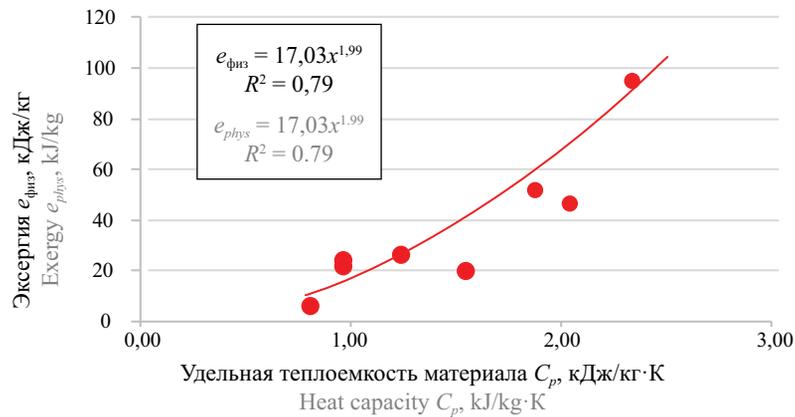
С увеличением теплоемкости самонагревающегося материала эксергия увеличивается, при этом уменьшается темп охлаждения (рис. 3).

Определено, что эксергия практически не зависит от коэффициента теплопроводности самонагревающихся материалов. Однако его увеличение

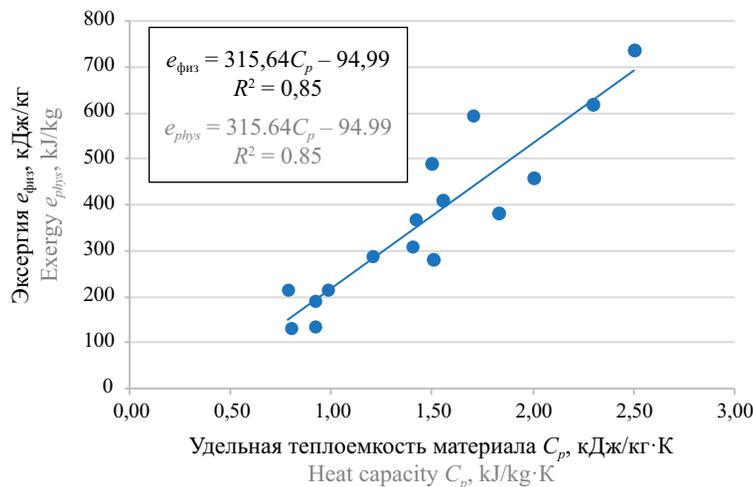
Таблица 2. Регрессионные уравнения зависимостей физической эксергии от энергии активации и критической температуры окружающей среды

Table 2. Regression equations describing dependencies of physical exergy on activation energy and critical ambient temperature

| Показатель Indicator | Физическая эксергия $e_{\text{физ}}$, кДж/кг Physical exergy e_{phys} , kJ/kg | | | |
|--|---|-------|---|-------|
| | $T = T_{\text{тл}} / T = T_{\text{sm}}$ | | $T = T_{\text{св}} / T = T_{\text{ai}}$ | |
| | Уравнение регрессии Regression equation | R^2 | Уравнение регрессии Regression equation | R^2 |
| Энергия активации E_a , кДж/моль Activation energy E_a , kJ/mol | $e_{\text{физ}} = 434\,864 \cdot E_a^{-2,05}$ $e_{\text{phys}} = 434,864 \cdot E_a^{-2,05}$ | 0,79 | $e_{\text{физ}} = 31\,387 \cdot E_a^{-1,16}$ $e_{\text{phys}} = 31,387 \cdot E_a^{-1,16}$ | 0,84 |
| Критическая температура окружающей среды $T_0^{\text{к}}$, К Critical ambient temperature $T_0^{\text{к}}$, K | $e_{\text{физ}} = 292,3 \cdot \ln(T_0^{\text{к}}) + 1751,9$ $e_{\text{phys}} = 292,3 \cdot \ln(T_0^{\text{к}}) + 1751,9$ | 0,71 | $e_{\text{физ}} = 8 \cdot 10^9 \cdot T_0^{\text{к}-3,05}$ $e_{\text{phys}} = 8 \cdot 10^9 \cdot T_0^{\text{к}-3,05}$ | 0,87 |



a



b

Рис. 3. Зависимость физической эксергии от теплоемкости самонагревающихся материалов при $T = T_{\text{тл}}$ (a) и $T = 600\text{ °C}$ (b)
Fig. 3. Dependence of physical exergy on the heat capacity of self-heating materials, at $T = T_{\text{sm}}$ (a), at $T = 600\text{ °C}$ (b)

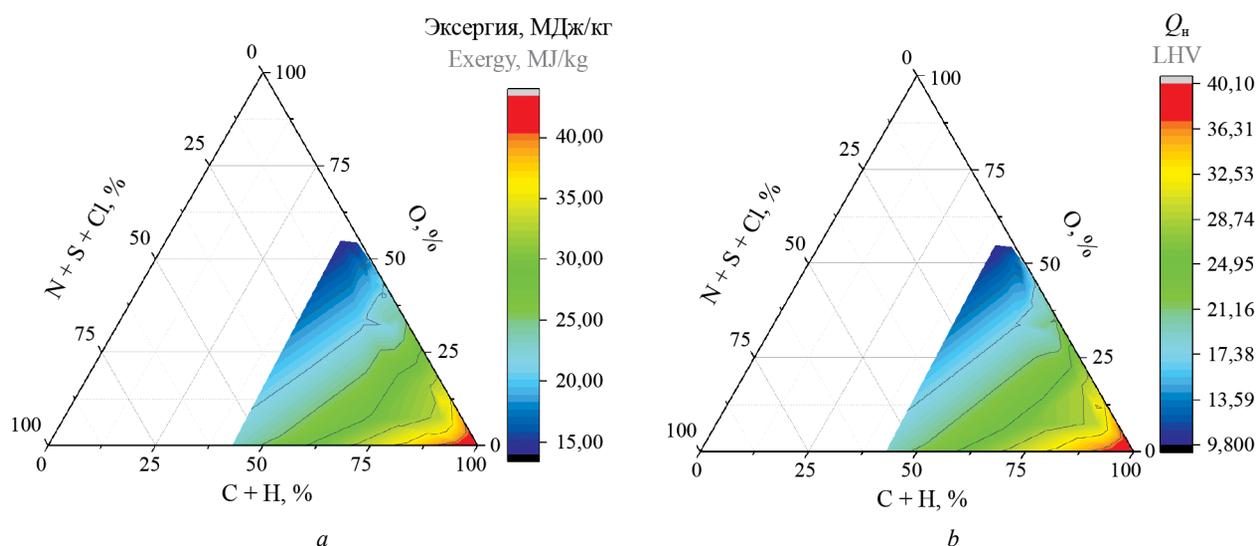


Рис. 4. Изменения химической эксергии (а) и низшей теплоты сгорания (b) от элементного состава ТКО

Fig. 4. Changes in chemical exergy (a) and lower value of the heat of combustion (b) triggered by the elemental composition of municipal solid waste (MSW)

сопровождается ростом критического размера неподвижного скопления материала. Влияние влажности на изменение эксергии зависит от причины процесса (тепловой, химической, микробиологической), свойств самовозгорающихся материалов (например, способности частиц к агломерации при увеличении влажности, возможности химического взаимодействия с H_2O).

Анализируя полученные данные, можно констатировать, что увеличение склонности к самовозгоранию сопровождается ростом эксергии.

Далее были рассмотрены ТКО, для которых рассчитаны $e_{хим}$, МДж/кг, Q_n , МДж/кг, и определены их зависимости от элементного состава отходов, что иллюстрирует рис. 4.

Было исследовано изменение эксергии в зависимости от зольности A , %, содержания летучих веществ V , %, и фиксированного углерода FC , %, (рис. 5). Показатели A , V , FC определены по данным [30]. Показано, что эксергия повышается с возрастанием содержания летучих веществ. Увеличение фиксированного углерода приводит к уменьшению рассматриваемого показателя. Эксергия растет при снижении зольности.

Сравнительная характеристика компонентов отходов представлена на табл. 3. Вещества и материалы перечислены в убывающей последовательности.

Проведенный анализ показал, что отходы могут быть разделены на четыре группы, включающие компоненты:

1) сорняки, кожура плодов, листья, дерево, ореховая скорлупа, овощи и др., состоящие из пектина, гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина с высоким FC и средними значениями других показателей;

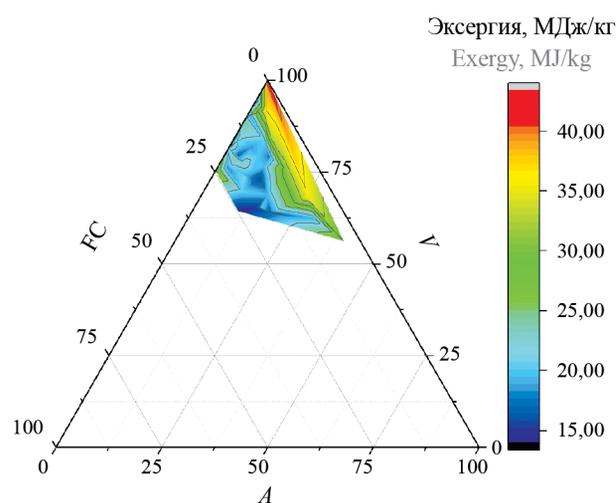


Рис. 5. Изменение химической эксергии в зависимости от содержания летучих веществ, фиксированного углерода и зольности

Fig. 5. A change in chemical exergy depending on the content of volatile substances, fixed carbon and ash content

2) хлопок, пищевой крахмал, картофель, туалетная бумага, бумага для печати, картон, состоящие из повторяющихся звеньев глюкозы, различным образом ориентированных в пространстве;

3) шерсть и химические волокна, имеющие низкое содержание Н и О, высокое содержание S и N, высокие значения Q_n и $e_{хим}$;

4) пластмассы и резины, имеющие высокие значения V (практически 100 %), C, H, Q_n и $e_{хим}$ и низкое содержание O, N, A, FC.

Наибольшей химической эксергией обладают пластмассы и резины.

Таблица 3. Сравнительная характеристика компонентов отходов в зависимости от значений низшей теплоты сгорания и химической эксергии**Table 3.** Comparative characteristics of waste components depending on lower values of heat combustion and chemical exergy

| Показатель Value | Компоненты отходов Waste components |
|---------------------|---|
| A, % | Кости > овощи > бумага для печати > резина > картон > листья > сорняки > поливинилхлорид > кожура фруктов > химические волокна > скорлупа от орехов > древесина > шерсть > хлопок > крахмал пищевой > полипропилен > полиэтилен > туалетная бумага > полиэтилен тетрафталат > полистирол Bones > vegetables > printing paper > rubber > cardboard > leaves > weeds > polyvinyl chloride > fruit peel > chemical fibers > nut shells > wood > wool > cotton > food starch > polypropylene > polyethylene > toilet paper > polyethylene terephthalate > polystyrene |
| V, % | Полиэтилен > полипропилен > полистирол > туалетная бумага > полиэтилен тетрафталат > хлопок > крахмал пищевой > химические волокна > шерсть > поливинилхлорид > дерево > картон > бумага для печати > кожура фруктов > сорняки > листья > орехи > овощи > резина > кости Polyethylene > polypropylene > polystyrene > toilet paper > polyethylene tetraphthalate > cotton > food starch > chemical fibers > wool > polyvinyl chloride > wood > cardboard > printing paper > fruit peel > weeds > leaves > nuts > vegetables > rubber > bones |
| FC, % | Ореховая скорлупа > резина > кожура фруктов > листья > сорняки > дерево > шерсть > крахмал пищевой > картон > хлопок > химическое волокно > поливинилхлорид > овощи > бумага для печати > полиэтилен тетрафталат > туалетная бумага > кости > полистирол > полиэтилен > полипропилен Nut shells > rubber > fruit peels > leaves > weeds > wood > wool > food starch > cardboard > cotton > chemical fiber > polyvinyl chloride > vegetables > printing paper > polyethylene terephthalate > toilet paper > bones > polystyrene > polyethylene > polypropylene |
| C, % | Полистирол > полиэтилен > полипропилен > резина > полиэтилен тетрафталат > шерсть > химическое волокно > кости > ореховая скорлупа > сорняки > дерево > листья > кожура фруктов > картон > хлопок > бумага для печати > овощи > туалетная бумага > крахмал > продукты питания > поливинилхлорид Polystyrene > polyethylene > polypropylene > rubber > polyethylene terephthalate > wool > chemical fiber > bones > nutshells > weeds > wood > leaves > fruit peel > cardboard > cotton > printing paper > vegetables > toilet paper > starch > food > polyvinyl chloride |
| H, % | Полиэтилен > полипропилен > полистирол > резина > кости > ореховая скорлупа > сорняки > крахмал > продукты питания > хлопок > бумага для печати > картон > кожура фруктов > дерево > туалетная бумага > листья > овощи > шерсть > химическое волокно > поливинилхлорид > полиэтилен тетрафталат Polyethylene > polypropylene > polystyrene > rubber > bones > nut shells > weeds > starch > food > cotton > printing paper > cardboard > fruit peel > wood > toilet paper > leaves > vegetables > wool > chemical fiber > polyvinyl chloride > polyethylene tetraphthalate |
| O, % | Туалетная бумага > крахмал пищевой > бумага для печати > овощи > картон > хлопок > листья > кожура фруктов > дерево > сорняки > ореховые скорлупы > полиэтилен тетрафталат > химическое волокно > кости > шерсть > резина > полипропилен > полистирол > полиэтилен > поливинилхлорид Toilet paper > food starch > printing paper > vegetables > cardboard > cotton > leaves > fruit peels > wood > weeds > nut shells > polyethylene terephthalate > chemical fiber > bones > wool > rubber > polypropylene > polystyrene > polyethylene > polyvinyl chloride |
| N, % | Шерсть > кости > химическое волокно > овощи > крахмалистые > кожура фруктов > орехи > резина > хлопок > сорняки > листья > дерево > картон > бумага для печати > полиэтилен тетрафталат > туалетная бумага > полиэтилен > поливинилхлорид > полипропилен > полистирол Wool > bones > chemical fiber > vegetables > starch > fruit peel > nuts > rubber > cotton > weeds > leaves > wood > cardboard > printing paper > polyethylene terephthalate > toilet paper > polyethylene > polyvinyl chloride > polypropylene > polystyrene |
| Cl, % | Поливинилхлорид > резина > хлопок > дерево > бумага для печати > бамбук > картон > кожура фруктов > крахмал > продукты питания > полиэтилен > полипропилен > полистирол Polyvinyl chloride > rubber > cotton > wood > printing paper > bamboo > cardboard > fruit peel > starch > food > polyethylene > polypropylene > polystyrene |
| S, % | Шерсть > резина > кости > овощи > химическое волокно > листья > поливинилхлорид > картон > ореховая скорлупа > бумага для печати > листья > туалетная бумага > кожура фруктов > крахмал пищевой > хлопок > дерево > полистирол > полиэтилен > полиэтилен тетрафталат > полипропилен Wool > rubber > bones > vegetables > chemical fiber > leaves > polyvinyl chloride > cardboard > nut shells > printing paper > leaves > toilet paper > fruit peel > food > starch > cotton > wood > polystyrene > polyethylene > polyethylene terephthalate > polypropylene |

| Показатель Value | Компоненты отходов Waste components |
|---|---|
| Q_n , МДж/кг Lower heat combustion value, MJ/kg | Полиэтилен > полипропилен > полистирол > пластиковая упаковка > резина > акриловое волокно > рыбные кости > полиэтилентетрафталат > полиэфирные волокна > хлопок > кости животных > поливинилхлорид > шерсть > опилки > скорлупа орехов > дерево > щепа > сорняки > кожура фруктов > туалетная бумага > картон > листья > бумага для печати > крахмал пищевой > овощи Polyethylene > polypropylene > polystyrene > plastic packaging > rubber > acrylic fiber > fish bones > polyethylene terephthalate > polyester fibers > cotton > animal bones > polyvinyl chloride > wool > sawdust > nut shells > wood > wood chips > weeds > fruit peel > toilet paper > cardboard > leaves > printing paper > food starch > vegetables |
| Q_v , МДж/кг Upper heat combustion value, MJ/kg | Полиэтилен > полипропилен > полистирол > пластиковая упаковка > резина > акриловое волокно > кости > полиэтилентетрафталат > полиэфирные волокна > хлопок > скорлупа орехов > опилки > шерсть > поливинилхлорид > древо > щепа > кожура фруктов > сорняки > туалетная бумага > картон > листья > крахмал пищевой > бумага для печати > овощи Polyethylene > polypropylene > polystyrene > plastic packaging > rubber > acrylic fiber > bones > polyethylene terephthalate > polyester fibers > cotton > nut shells > sawdust > wool > polyvinyl chloride > wood > wood chips > fruit peel > weeds > toilet paper > cardboard > leaves > food starch > printing paper > vegetables |
| Химическая эксергия, МДж/кг Chemical exergy, MJ/kg | Полиэтилен > полипропилен > полистирол > пластиковая упаковка > резина > акриловое волокно > рыбные кости > полиэтилентетрафталат > кости животных > полиэфирные волокна > хлопок > скорлупа орехов > поливинилхлорид > опилки > дерево > щепа > кожура фруктов > сорняки > туалетная бумага > картон > листья > крахмал пищевой > бумага для печати > овощи Polyethylene > polypropylene > polystyrene > plastic packaging > rubber > acrylic fiber > fish bones > polyethylene terephthalate > animal bones > polyester fibers > cotton > nut shells > polyvinyl chloride > sawdust > wood > wood chips > fruit peel > weeds > toilet paper > cardboard > leaves > food starch > printing paper > vegetables |

Между эксергией и теплотой сгорания ТКО получена прямая пропорциональная зависимость (рис. 6).

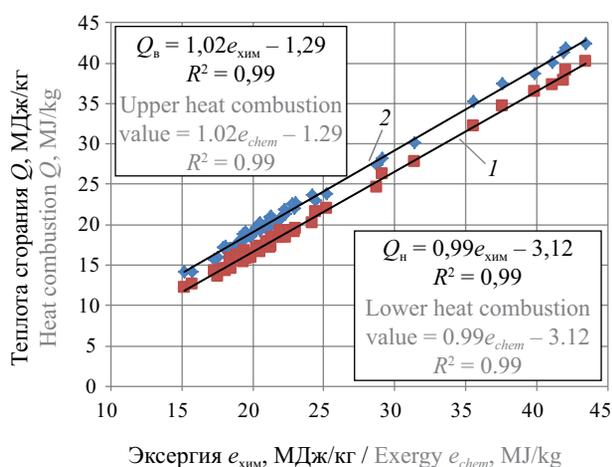


Рис. 6. Зависимость теплоты сгорания от эксергии для ТКО: 1 — $Q_n = f(e_{хим})$; 2 — $Q_v = f(e_{хим})$

Fig. 6. Dependence of combustion heat on exergy for MSW: 1 — lower heat combustion value = $f(e_{chem})$; 2 — upper heat combustion value = $f(e_{chem})$

Выявленные закономерности позволяют обосновать применение эксергетического показателя

для прогностической оценки пожарной опасности ТКО как грузов на железнодорожном транспорте.

Проанализировав пожароопасные свойства веществ — грузов на железнодорожном транспорте, соотнеся их со значениями эксергии, представляется целесообразным ввести эксергетический показатель для оценки пожарной и экологической опасности веществ, материалов и изделий:

$$P_3 = \frac{e}{30},$$

где e — удельная эксергия груза, МДж/кг;

30 — минимальная удельная эксергия груза, относящегося к классу Э3, МДж/кг.

Классификация веществ и материалов по эксергетическому показателю представлена в табл. 4.

К классу Э2 относятся шерсть, химические волокна, картон, бумага, крахмал, сухие листья, сухая трава, сушеные овощи и кожура плодов.

Класс Э3 включает в себя пластмассы и резины, обладающие наибольшими значениями эксергетического показателя ТКО.

Введение эксергетического показателя добавит процедуре определения класса опасности ТКО объективности в плане назначения более высокого класса в целях обеспечения безопасности.

Таблица 4. Классификация грузов по эксергетическому показателю**Table 4.** Classification of loads by the exergy indicator

| Класс Class | Значение эксергетического показателя The value of the exergy indicator | Группа горючести Flammability group |
|--|---|--|
| Э0 — негорючие E0 — nonflammable | $P_3 < 0,1$ $P_e < 0,1$ | Негорючие Nonflammable |
| Э1 — с низким значением эксергетического показателя E1 — low value of the exergy indicator | $0,1 \leq P_3 < 0,5$ $0,1 \leq P_e < 0,5$ | Трудногорючие Low flammable |
| Э2 — со средним значением эксергетического показателя E2 — medium value of the exergy indicator | $0,5 \leq P_3 < 1,0$ $0,5 \leq P_e < 1,0$ | Горючие Flammable |
| Э3 — с высоким значением эксергетического показателя E3 — high value of the exergy indicator | $P_3 \geq 1,0$ $P_e < 1,0$ | |

Выводы

Проведя сравнительный анализ применения потенциала горючести и эксергетического показателя для оценки пожарной опасности ОГ на железнодорожном транспорте, следует выделить следующие преимущества последнего:

1) дает возможность преодолеть методологические проблемы при необходимости учета в единой системе технико-экономических, экологических критериев и показателей пожарной опасности;

2) является количественной характеристикой, зависящей не только от параметров системы, но также от параметров окружающей среды и характеристик рассматриваемого процесса;

3) позволяет провести унификацию требований к вредным веществам, содержащимся в сырье, продуктах, полупродуктах и отходах, при их хранении, применении, производстве и опасным грузам с точки зрения их пожарной и экологической опасности, оценить вредное воздействие продуктов их сгорания;

4) является уточняющим параметром при выборе стратегии управления отходами, его использование позволяет, с одной стороны, увеличить объективность оценки пожарной и экологической опасности отходов, с другой — провести сравнительный анализ эксергетической эффективности процессов их переработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Huang W., Shuai B., Zuo B., Xu Y., Antwi E. A systematic railway dangerous goods transportation system risk analysis approach: The 24 model // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2019. Vol. 61. Pp. 94–103. DOI: 10.1016/j.jlp.2019.05.021
- Ovidi F., van der Vlies V., Kuipers S., Landucci G. HazMat transportation safety assessment: Analysis of a “Viareggio-like” incident in the Netherlands // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2020. Vol. 3. P. 103985. DOI: 10.1016/j.jlp.2019.103985
- Huang W., Zhang Y., Zuo B., Yua Y., De Dieu G.J., Xu Y. Using an expanded Safety Failure Event Network to analyze railway dangerous goods transportation system risk-accident // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2020. Vol. 65. P. 104122. DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104122
- Huang W., Liu Y., Zhang Y., Zhang R., Xu M., De Dieu G.J. et al. Fault tree and fuzzy D-S evidential reasoning combined approach: An application in railway dangerous goods transportation system accident analysis // *Information Sciences*. 2020. Vol. 520. Pp. 117–129. DOI:10.1016/j.ins.2019.12.089
- Huang W., Zhang R., Xu M., Yu Y., Xu Y., De Dieu G.J. Risk state changes analysis of railway dangerous goods transportation system: Based on the cusp catastrophe model // *Reliability Engineering & System Safety*. 2020. Vol. 202. P. 107059. DOI: 10.1016/j.res.2020.107059
- Бочаров Б.В., Жуков В.И., Стручалин В.Г. Комплексная безопасность на железнодорожном транспорте и метрополитене : монография : в 2 ч. Ч. 2 : Безопасность движения и безопасность в чрезвычайных ситуациях / под ред. В.М. Пономарева, В.И. Жукова. М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. 494 с.
- Vincent C., Corn S., Longuet C., Aprin L., Rambaud G., Ferry L. Experimental and numerical thermo-mechanical analysis of the influence of thermoplastic slabs installation on the assessment of their fire hazard // *Fire Safety Journal*. 2019. Vol. 3. P. 102850. DOI: 10.1016/j.fire-saf.2019.102850

8. *Bariha N., Mishra I.M., Srivastava V.C.* Fire and explosion hazard analysis during surface transport of liquefied petroleum gas (LPG): A case study of LPG truck tanker accident in Kannur, Kerala, India // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2016. Vol. 40. Pp. 449–460. DOI: 10.1016/j.jlp.2016.01.020
9. *Монахов В.Т.* Методы исследования пожарной опасности веществ. 2-е изд., перераб. М. : Химия, 1979. 424 с.
10. *Steen-Hansen A., Storesund K., Sesseng C.* Learning from fire investigations and research — A Norwegian perspective on moving from a reactive to a proactive fire safety management // *Fire Safety Journal*. 2020. Vol. 3. P. 103047. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103047
11. *Jiao Z., Escobar-Hernandez H.U., Parker T., Wang Q.* Review of recent developments of quantitative structure-property relationship models on fire and explosion-related properties // *Process Safety and Environmental Protection*. 2019. Vol. 129. Pp. 280–290. DOI: 10.1016/j.psep.2019.06.027
12. *Корольченко А.Я.* Проблемы определения горючести веществ // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2015. Т. 24. № 12. С. 6–10. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.6-10
13. *Шебеко Ю.Н., Иванов А.В., Ильин А.Б.* О расчете концентраций горючего и флегматизатора в экстремальной точке области воспламенения // *Физика горения и взрыва*. 1981. № 4. С. 33–35.
14. *Guoa F., Hase W., Ozaki Y., Konno Y., Inatsuki M., Nishimura K. et al.* Experimental study on flammability limits of electrolyte solvents in lithium-ion batteries using a wick combustion method // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2019. Vol. 109. P. 109858. DOI: 10.1016/j.exthermfluidsci.2019.109858
15. *Королева Л.А., Хайдаров А.Г., Ивахнюк Г.К., Коваль Д.Н.* Эксергетический подход к оценке энергоэкологической эффективности и пожарной опасности грузовых перевозок на железнодорожном транспорте // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2018. Т. 27. № 7–8. С. 43–52. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.43-52
16. *Хайдаров А.Г., Королева Л.А., Ивахнюк Г.К.* Эксергетическая оценка пожарной опасности перевозок на железнодорожном транспорте // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2018. Т. 27. № 10. С. 26–37. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.10.26-37
17. *Khila Z., Vaccar I., Jemel I., Houas A., Hajjajia N.* Energetic, exergetic and environmental life cycle assessment analyses as tools for optimization of hydrogen production by autothermal reforming of bioethanol // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016. Vol. 41. Issue 39. Pp. 17723–17739. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.07.225
18. *Bellos E., Tzivanidis C., Tsifis G.* Energetic, Exergetic, Economic and Environmental (4E) analysis of a solar assisted refrigeration system for various operating scenarios // *Energy Conversion and Management*. 2017. Vol. 148. Pp. 1055–1069. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.06.063
19. *Eini S., Shahhossein H., Delgarm N., Lee M., Bahadori A.* Multi-objective optimization of a cascade refrigeration system: Exergetic, economic, environmental, and inherent safety analysis // *Applied Thermal Engineering*. 2016. Vol. 107. Pp. 804–817. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.07.013
20. *Боровков Ю.Н., Воронцова В.М.* Возможности использования эксергетического метода в экологическом менеджменте // *Научный журнал*. 2018. Т. 27. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-ispolzovaniya-eksergeticheskogo-metoda-v-ekologicheskom-menedzhmente> (дата обращения: 04.09.2020).
21. *Ghannadzadeh A.* Exergetic balances and analysis in a process simulator: A way to enhance process energy integration. Toulouse : Institut National Polytechnique, 2012. 215 p.
22. *Бродянский В.М., Фратшер В., Михалек К.* Эксергетический метод и его приложения / под ред. В.М. Бродянского. М. : Энергоатомиздат, 1988. 287 с.
23. *Лейтес И.Л., Сосна М.Х., Семенов В.П.* Теория и практика химической энерготехнологии. М. : Химия, 1988. 280 с.
24. Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 2019610945 РФ. Программный комплекс для проведения эксергетического анализа и оценки пожаро-взрывоопасности веществ, материалов и изделий (ПК эксергетики) / А.Г. Хайдаров, Л.А. Королева : правообл. А.Г. Хайдаров, Л.А. Королева. № 2018665631; заявл. 28.12.2018; опубл. 18.01.2019.
25. *Gundersen T.* The concept of exergy and energy quality. Norway : Norwegian University of Science and Technology Trondheim, 2009. 25 p.

26. Киселев Я.С., Хорошилов О.А., Демехин Ф.В. Физические модели горения в системе пожарной безопасности / под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 348 с.
27. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. 2-е изд., перераб. и доп. Ч. I. М. : Пожнаука, 2004. 713 с.
28. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. 2-е изд., перераб. и доп. Ч. II. М. : Пожнаука, 2004. 774 с.
29. Eboh F.C., Ahlström P., Richards T. Estimating the specific chemical exergy of municipal solid waste // *Energy Science & Engineering*. 2016. Vol. 4. Issue 3. Pp. 217–231. DOI: 10.1002/ese3.121
30. Козлов Г.В., Ивахнюк Г.К. Морфологический состав твердых коммунальных отходов по регионам мира в XX и начале XXI века (обзор) // *Известия СПбГТИ (ТУ)*. 2014. № 24 (50). С. 58–66. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21730915>
31. Zhou H., Meng A., Long Y., Li Q., Zhang Y. Classification and comparison of municipal solid waste based on thermochemical characteristics // *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2014. Vol. 64 (5). Pp. 597–616. DOI: 10.1080/10962247.2013.873094

REFERENCES

1. Huang W., Shuai B., Zuo B., Xu Y., Antwi E. A systematic railway dangerous goods transportation system risk analysis approach: The 24 model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2019; 61:94-103. DOI: 10.1016/j.jlp.2019.05.021
2. Ovidi F., van der Vlies V., Kuipers S., Landucci G. HazMat transportation safety assessment: Analysis of a “Viareggio-like” incident in the Netherlands. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2020; 3:103985. DOI: 10.1016/j.jlp.2019.103985
3. Huang W., Zhang Y., Zuo B., Yua Y., De Dieu G.J., Xu Y. Using an expanded Safety Failure Event Network to analyze railway dangerous goods transportation system risk-accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2020; 65:104122. DOI:10.1016/j.jlp.2020.104122
4. Huang W., Liu Y., Zhang Y., Zhang R., Xu M., De Dieu G.J. et al. Fault tree and fuzzy D-S evidential reasoning combined approach: An application in railway dangerous goods transportation system accident analysis. *Information Sciences*. 2020; 520:117-129. DOI:10.1016/j.ins.2019.12.089
5. Huang W., Zhang R., Xu M., Yu Y., Xu Y., De Dieu G.J. Risk state changes analysis of railway dangerous goods transportation system: Based on the cusp catastrophe model. *Reliability Engineering & System Safety*. 2020; 202:107059. DOI: 10.1016/j.res.2020.107059
6. Bocharov B.V., Zhukov V.I., Struchalin V.G. *Complex safety on railway transport and metro : monograph : in 2 part. Part 2. Traffic safety and safety in emergency situations* / Ponomarev V.M., Zhukov V.I. (ed.). Moscow, Training and methodological center for education in railway transport, 2015; 713. (rus).
7. Vincent C., Corn S., Longuet C., Aprin L., Rambaud G., Ferry L. Experimental and numerical thermo-mechanical analysis of the influence of thermoplastic slabs installation on the assessment of their fire hazard. *Fire Safety Journal*. 2019; 3:102850. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102850
8. Bariha N., Mishra I.M., Srivastava V.C. Fire and explosion hazard analysis during surface transport of liquefied petroleum gas (LPG): A case study of LPG truck tanker accident in Kannur, Kerala, India. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2016; 40:449-460. DOI: 10.1016/j.jlp.2016.01.020
9. Monakhov V.T. *Methods of investigation of fire hazard of substances*. 2nd ed., rev. Moscow, Chemistry Publ., 1979; 424. (rus).
10. Steen-Hansen A., Storesund K., Sesseng C. Learning from fire investigations and research — A Norwegian perspective on moving from a reactive to a proactive fire safety management. *Fire Safety Journal*. 2020; 3:103047. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103047
11. Jiao Z., Escobar-Hernandez H.U., Parker T., Wang Q. Review of recent developments of quantitative structure-property relationship models on fire and explosion-related properties. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019; 129:280-290. DOI: 10.1016/j.psep.2019.06.027
12. Korolchenko A.Ya. Problems of determination of combustibility of substances. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2015; 24, (12):6-10. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.6-10 (rus).
13. Shebeko Yu.N., Ivanov A.V., Ilin A.B. Calculation of fuel and phlegmatizer concentrations at the extreme point of the ignition region. *Physics of combustion and explosion*. 1981; 4:33-35. (rus).

14. Guoa F., Hase W., Ozaki Y., Konno Y., Inatsuki M., Nishimura K. et al. Experimental study on flammability limits of electrolyte solvents in lithium-ion batteries using a wick combustion method. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2019; 109:109858. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2019.109858
15. Koroleva L.A., Khaydarov A.G., Ivakhnyuk G.K., Koval D.N. Exergistic approach to estimation of energy-ecological efficiency and fire hazard of cargo transportation on railway transport. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2018; 27(7-8):43-52. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.07-08.43-52 (rus).
16. Khaydarov A.G., Koroleva L.A., Ivakhnyuk G.K. Exergetic assessment of fire hazards of cargo transportation on railway transport. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2018; 27(10):26-37. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.10.26-37 (rus).
17. Khila Z., Baccar I., Jemel I., Houas A., Hajjajia N. Energetic, exergetic and environmental life cycle assessment analyses as tools for optimization of hydrogen production by autothermal reforming of bioethanol. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016; 41(39):17723-17739. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.07.225
18. Bellos E., Tzivanidis C., Tsifis G. Energetic, Exergetic, Economic and Environmental (4E) analysis of a solar assisted refrigeration system for various operating scenarios. *Energy Conversion and Management*. 2017; 148:1055-1069. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.06.063
19. Eini S., Shahhossein H., Delgarm N., Lee M., Bahadori A. Multi-objective optimization of a cascade refrigeration system: Exergetic, economic, environmental, and inherent safety analysis. *Applied Thermal Engineering*. 2016; 107:804-817. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.07.013
20. Borovkov Yu.N., Voroncova V.M. Possibilities of using the exergetic method in environmental management. *Scientific journal*. 2018; 27(4). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-ispolzovaniya-eksergeticheskogo-metoda-v-ekologicheskome-menedzhmente> (Accessed: September 4, 2020). (rus).
21. Ghannadzadeh A. *Exergetic Balances and Analysis in a Process Simulator: A Way to Enhance Process Energy Integration*. Toulouse, Institut National Polytechnique, 2012; 215.
22. Brodyanskiy V.M., Fratsher V., Mikhalek K. *Exergetic method and its applications* / Brodyanskiy V.M. (ed.). Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988; 287. (rus).
23. Leytes I.L., Sosna M.Kh., Semenov V.P. *Theory and practice of chemical energy technology*. Moscow, Chemistry Publ., 1988; 280. (rus).
24. Certificate of state registration of the computer program No. 2019610945 RU. *Software suit for the exergetic analysis and estimations of the fire and explosive hazards of the substances, materials, and goods (Software suit exergetics)* / A.G. Khaydarov, L.A. Koroleva : right holder A.G. Khaydarov, L.A. Koroleva. No. 2018665631; appl. December 28, 2018; publ. January 18, 2019. (rus).
25. Gundersen T. *The concept of exergy and energy quality*. Norway, Norwegian University of Science and Technology Trondheim, 2009; 25.
26. Kiselev Ya.S., Khoroshilov O.A., Demekhin F.V. *Physical models of Gorenje in the fire safety system* / Artamonov V.S. (ed.). Saint-Petersburg, Polytechnic University publishing, 2009; 348. (rus).
27. Korolchenko A.Ya., Korolchenko D.A. *Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting : reference book*. 2nd ed. Part I. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004; 713. (rus).
28. Korolchenko A.Ya., Korolchenko D.A. *Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting : reference book*. 2nd ed. Part II. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004; 774. (rus).
29. Eboh F.C., Ahlström P., Richards T. Estimating the specific chemical exergy of municipal solid waste. *Energy Science & Engineering*, 2016; 4(3):217-231. DOI: 10.1002/ese3.121
30. Kozlov G.V., Ivakhnyuk G.K. Morphological structure of waste composition on world regions in XX and the beginning of the XXI century (review). *Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*. 2014; 24(50):58-56. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21730915> (rus).
31. Zhou H., Meng A., Long Y., Li Q., Zhang Y. Classification and comparison of municipal solid waste based on thermochemical characteristics. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2014; 64(5):597-616. DOI: 10.1080/10962247.2013.873094

Поступила 07.12.2020, после доработки 24.12.2020; принята к публикации 30.12.2020
Received December 7, 2020; Received in revised form December 24, 2020; Accepted December 30, 2020

Информация об авторах

КОРОЛЕВА Людмила Анатольевна, канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 833923; ORCID: 0000-0001-5661-5774; e-mail: lyudamil@mail.ru

ХАЙДАРОВ Андрей Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры бизнес-информатики, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 885219; ORCID: 0000-0003-0693-8027; e-mail: andreyhaydarov@gmail.com

ИВАХНЮК Григорий Константинович, д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной защиты окружающей среды, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 521920; ORCID: 0000-0003-2556-303X; e-mail: fireside@inbox.ru

АКТЕРСКИЙ Юрий Евгеньевич, д-р воен. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 704111; ORCID: 0000-0001-5768-7462; e-mail: akterskij.y@igps.ru

Information about the authors

Lyudmila A. KOROLEVA, Cand. Sci. (Eng.), Docent, Deputy Head of Fire, Rescue Equipment and Automotive Industry Department, 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, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 833923; ORCID: 0000-0001-5661-5774; e-mail: lyudamil@mail.ru

Andrey G. KHAYDAROV, Cand. Sci. (Eng.), Docent, Associate Professor of Department of Business Informatics, Saint-Petersburg State Institute of Technology, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 885219; ORCID: 0000-0003-0693-8027; e-mail: andreyhaydarov@gmail.com

Grigoriy K. IVAKHNYUK, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head of Department of Engineering Protection of Environment, Saint-Petersburg State Institute of Technology, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 521920; ORCID: 0000-0003-2556-303X; e-mail: fireside@inbox.ru

Yuriy E. AKTERSKIY, Dr. Sci. (Military), Professor, Professor of Department of Fire Safety of Buildings and Automated Fire Extinguishing Systems, 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, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 704111; ORCID: 0000-0001-5768-7462; e-mail: akterskij.y@igps.ru

Экраны вокруг проемов в перекрытиях общественных зданий

© В.И. Присадков, Д.В. Ушаков, А.А. Абашкин, А.С. Зуева ✉

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В многосветных помещениях зданий широко используются экраны, устанавливаемые вокруг проемов в перекрытиях для предотвращения распространения опасных факторов пожара на вышерасположенные этажи и для повышения эффективности системы противодымной вентиляции. В статье рассмотрены вопросы целесообразности установки экранов вокруг проемов перекрытия, определения требуемой высоты экранов. Целью настоящей статьи является количественный анализ работы экранов по предотвращению распространения опасных факторов пожаров для установления общих закономерностей в многоуровневом связанном пространстве и разработки предложения по использованию экранов в общественных зданиях. Предложено высоту экранов определять на основе решения компромиссной задачи: введение экранов уменьшает допустимое время эвакуации с этажа здания с экранами и расширяет диапазон времени эвакуации с верхних этажей здания.

Алгоритм выбора рациональной высоты экранов. Предложен следующий алгоритм двухэтапного выбора рационального варианта высоты экранов. На первом этапе решается задача эвакуации. В результате для эвакуационных выходов определяются времена завершения эвакуации. Далее для выбранного типа системы оповещения объекта вычисляются допустимые значения необходимого времени эвакуации, времени блокирования эвакуационных выходов с этажей.

На втором этапе решается задача оценки динамики опасных факторов пожара в помещениях здания для различных значений высоты экрана. В результате устанавливается рациональная высота экранов, при которой доступное время эвакуации остается положительным.

Выводы. Нельзя заранее назначить высоту экранов. В каждом случае необходим индивидуальный подход, основанный на решении задач эвакуации и динамики опасных факторов пожара в зданиях с многосветными пространствами. Все это соответствует концепции гибкого нормирования систем противопожарной защиты объектов.

Ключевые слова: многосветные помещения; противодымная вентиляция; требуемая высота экрана; перетекание дыма через экран; опасные факторы пожара

Для цитирования: Присадков В.И., Ушаков Д.В., Абашкин А.А., Зуева А.С. Экраны вокруг проемов в перекрытиях общественных зданий // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 1. С. 32–41. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.32-41

✉ Зуева Анна Станиславовна, e-mail: dawork18@gmail.com

Screens surrounding openings in floor slabs of public buildings

© Vladimir I. Prasadkov, Dmitriy V. Ushakov, Aleksandr A. Abashkin, Anna S. Zueva ✉

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. Screens often surround openings in the floor slabs of atrium buildings to prevent the spread of fire hazards to higher floors and to improve the efficiency of smoke ventilation systems. In this article, the co-authors assess the expediency of installing screens around openings in the floor slabs and identify the best screen height values. In this article, the co-authors perform a quantitative analysis of the ability of screens to prevent the propagation of hazardous fire factors, to identify general regularities typical for a multi-level space, and to develop recommendations for the installation of screens inside public buildings. The co-authors suggest that screen height should be a solution to the following tradeoff problem: the use of screens reduces acceptable evacuation time for the floor that has screens installed and rises the evacuation time for higher floors.

Rational screen height selection algorithm. The co-authors propose the following algorithm for the two-stage selection of the rational screen height. At the first stage, the evacuation problem is resolved. As a result, evacuation completion time is determined for emergency exits. Further, acceptable evacuation time and the time needed to block emergency floor exits are identified for a particular type of a fire alarm system.

At the second stage, the dynamics of hazardous fire factors in building rooms is assessed for various screen heights. As a result, the rational height of screens is established for the evacuation time to remain positive.

Conclusions. Screen height values cannot be determined in advance. Each case requires an individual approach that entails the resolution of evacuation problems and the tracking of the dynamics of hazardous fire factors in buildings that have multi-height spaces. These ideas are in line with the concept of flexible regulation of fire protection systems designated for construction facilities.

Keywords: atriums; smoke ventilation; required screen height; smoke penetration through the screen; fire hazards

For citation: Prasadkov V.I., Ushakov D.V., Abashkin A.A., Zueva A.S. Screens surrounding openings in floor slabs of public buildings. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(1):32-41. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.32-41 (rus).

✉ Anna Stanislavovna Zueva, e-mail: dawork18@gmail.com

Введение

При проектировании противопожарной защиты многосветных пространств в общественных зданиях часто применяются экраны, устанавливаемые снизу по периметру проемов в перекрытиях. Экраны могут быть стационарными или выполненными в виде штор, занавесов, оборудованных автоматически и/или дистанционно управляемыми приводами (без термоэлементов) для их опускания при пожаре^{1, 2}.

Экраны, отбортовки, шторы, противопожарные занавесы (далее — экраны) обеспечивают конструктивное препятствие распространению дыма в подпотолочном пространстве через проем, соединяющий помещение очага пожара с пространством атриума.

В статье рассмотрены вопросы устройства и нормирования высоты вертикальных экранов в многосветных пространствах (атриумах).

В научной литературе и нормативных документах по пожарной безопасности недостаточно освещены вопросы обоснования областей применения экранов, выбора основного параметра проектирования — высоты экранов.

На практике требования к устройству и высоте экранов устанавливаются в специальных технических условия на объект на основе ранее принятых типовых решений и после их утверждения становятся обязательными к исполнению. При этом назначаемая высота экранов не имеет строгого количественного обоснования.

Теоретическое обоснование применения экранов для защиты от дыма в помещениях атриумов дано в трудах G.O. Hansell, H.P. Morgan [1]. Авторы показали, что вышедшая в атриум струя дыма увеличивает массовый расход дыма (в поперечном сечении струи) пропорционально высоте подъема струи над уровнем расположения очага пожара вплоть

до нижней границы высоты слоя дыма за счет воздуха, вовлекаемого в струю. С целью уменьшения требуемых расходов дыма через вентилятор дымоудаления необходимо предотвратить выход припотолочной струи дыма из помещения очага пожара под галереей атриума в помещении атриума. Для этой цели, во-первых, используются экраны. Во-вторых, установка экранов связана с организацией дымового резервуара под потолком помещения этажа пожара, из которого производится удаление дыма. Расход вентилятора противодымной вентиляции определяется из условия: чистый воздух не должен удаляться вместе с дымом. Этот фактор существенно влияет на высоту экрана, определяя эффективность дымового резервуара [1–3].

Нормативные документы предъявляют следующее требование к экранам: «Противодымные экраны (шторы, занавесы) должны быть оборудованы автоматическими и дистанционно управляемыми приводами (без термоэлементов) (ч. 6, ст. 138 Федерального закона № 123-ФЗ). Рабочая длина выпуска таких экранов должна быть не менее толщины образующегося при пожаре в помещении дымового слоя. Согласно Федеральному закону № 123-ФЗ, основа рабочих полотен противодымных экранов должна выполняться из негорючих материалов».

В настоящее время отсутствует утвержденная методика расчета толщины припотолочного слоя горячих газов и дыма от факела пламени на начальной стадии пожара. В связи с чем возникают трудности не только в определении необходимой высоты экрана, но и в более широком смысле — в подтверждении необходимости устройства экранов, как потенциального сильного фактора повышения пожарной безопасности зданий с многосветными пространствами. Влияние высоты экрана на необходимое время эвакуации позволяет обоснованно выбрать противопожарные мероприятия с учетом экономических затрат на устройство экранов, на устанавливаемые вентиляторы противодымной вентиляции³ [4–6].

¹ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 27 декабря 2018 г.) : Федеральный закон от 22 июня 2008 г. № 123-ФЗ; принят Государственной Думой 4 июля 2008 г.; одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г.

² Противопожарные и дымозащитные шторы : рекомендации для проектных, строительных организаций и органов ГПН. М. : ООО «СТЦ ДОРМАСТЕР», 2014.

³ NFPA 92B. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2005.

Ниже на основе аналитического подхода и численного анализа примера общественного здания с проемом в перекрытии будут рассмотрены вопросы, связанные с проектированием экранов на основе расчетного обоснования.

Целью настоящей статьи является количественный анализ работы экранов по предотвращению распространения опасных факторов пожара (ОФП) для установления общих закономерностей в многоуровневом связанном пространстве и разработки предложений по использованию экранов в общественных зданиях.

Объект моделирования

Рассматривается двухэтажное общественное здание (офисное, торговое, физкультурно-оздоровительный комплекс) (рис 1). Размеры двухэтажного здания в плане составляют 60×20 м. Высота каждого из этажей равна 4 м. Проем в перекрытии первого этажа равен 12×8 м и используется для устройства открытой лестницы. Площадь этажей здания (за-

- первого этажа — 1200 м^2 ;
- второго этажа — 1100 м^2 .

Общее количество людей в помещении здания — 767 чел.

Количество человек на первом этаже составляет 400 чел., на втором — 367 чел. (см. рис. 1).

В здании предусмотрены три лестничные клетки с выходами непосредственно наружу. Ширина лестничных маршей составляет 1,5 м. Все три лестничные клетки типа Л1 являются также проходными на первом этаже с глубиной входной площадки на первом этаже не менее 1,5 м. В проеме перекрытия устанавливается открытая лестница 2-го типа с шириной маршей 2,5 и $2 \times 1,5$ м. Автоматическая система пожаротушения в здании не предусмотрена.

С целью чистоты исследования в здании не предусмотрено устройство противодымной вентиляции.

Для моделирования распространения продуктов горения здания используется полевой метод моделирования пожаров в помещениях.

В силу турбулентности припотолочного слоя дыма, расходящегося под потолком от очага пожара, лишь приближенно можно говорить о толщине слоя и плоскости границы, разделяющей слой дыма и газов от незадымленного воздуха. В результате, некое, относительно небольшое количество дыма и газов может перетекать через экран, даже если толщина слоя дыма меньше высоты экрана.

Выбирается следующий сценарий пожара.

Пожар возникает на уровне пола в помещении торгового центра, расположенном на первом этаже (рис. 2). Месторасположение очага пожара определяет блокирование эвакуационного выхода В1 и способствует быстрому распространению ОФП с последующим блокированием эвакуационных выходов В2 – В7.

От первичного очага пламя распространяется по расположенным в непосредственной близости горючим материалам, а ОФП — через проем в перекрытии открытой лестницы.

Аналитические оценки времени начала перетекания дыма через экран

Выведем приближенные аналитические оценки моментов времени начала перетекания дыма через экран на верхний уровень здания, используя исследование научной группы под руководством И.К. Чао [7]. При этом теплообмен припотолочного слоя нагретого дыма и газов с ограждающими конструкциями не учитывается, и перетекание дыма через проем в перекрытии не происходит.

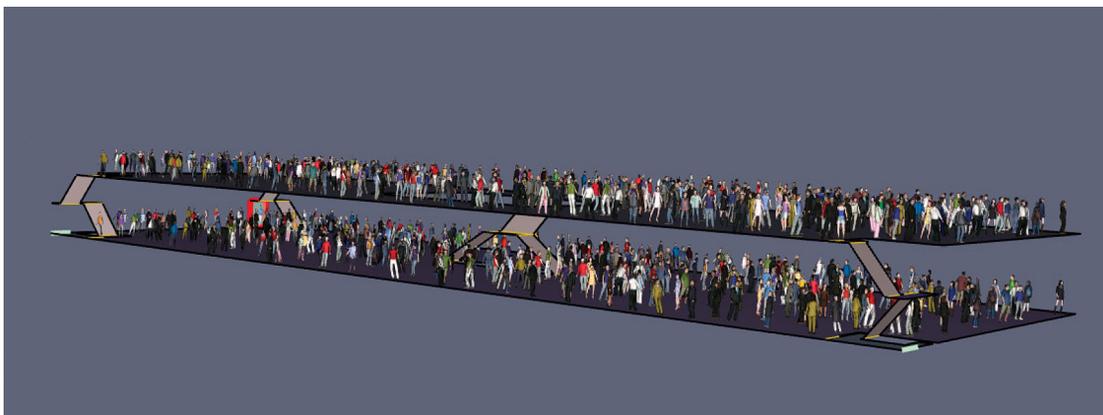


Рис. 1. Общее количество людей в помещении здания

Fig. 1. The total number of people inside the building

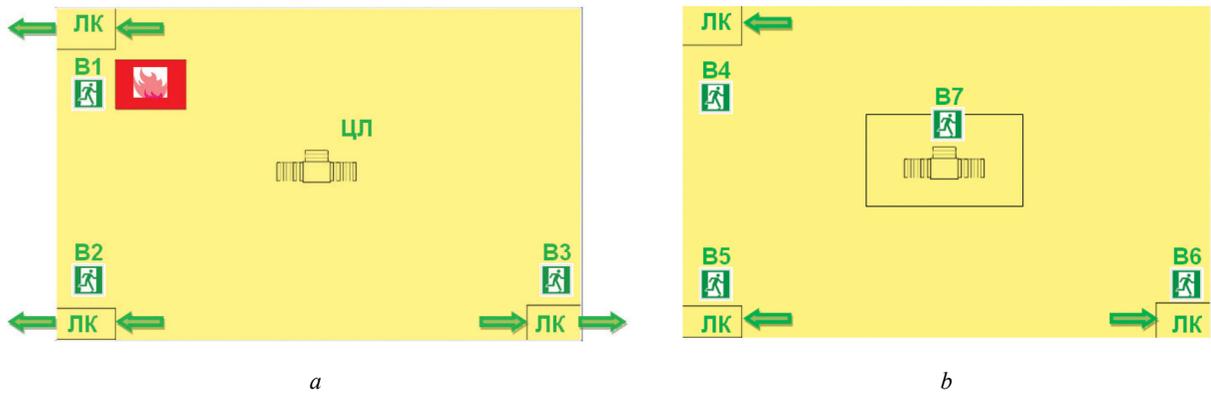


Рис. 2. Структура здания: *a* — первый этаж; *b* — второй этаж; ЛК — лестничная клетка; ЦЛ — центральная лестница; В1–В3 — эвакуационные выходы с этажа через лестничную клетку наружу; В4–В6 — эвакуационные выходы с этажа на лестничную клетку, В7 — эвакуационный выход на открытую лестницу

Fig. 2. The structural arrangement of the building: *a* — ground floor; *b* — first floor; SC — staircase; CS — central stairway; B1–B3 — ultimate emergency floor staircase exits; B4–B6 — emergency exits to the staircase, B7 — emergency exit to the open stairway

На основе двухзональной модели получена следующая оценка высоты *Z* незадымленной зоны на первом уровне здания [7] (рис. 3).

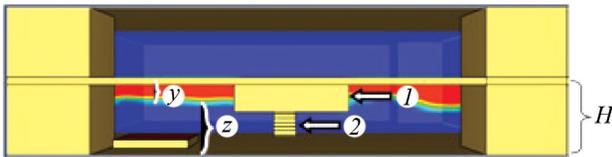


Рис. 3. Двухзональная модель пожара: 1 — экран; 2 — открытая лестница; *H* — высота этажа; *Z* — высота незадымляемой зоны; *y* — толщина слоя дыма

Fig. 3. Bizonal fire model: 1 — screen; 2 — open stairway; *H* — floor-to-floor height; *Z* — smoke-free zone height; *y* — smoke layer thickness

$$Z = \left[0,075 \left(\frac{ag}{\rho_0 C_p T_0 A^3} \right)^{\frac{1}{3}} t^{\frac{5}{3}} + H^{-\frac{2}{3}} \right]^{\frac{3}{2}}, \quad (1)$$

где *a* — коэффициент тепловой мощности очага пожара, *a* = 0,0225 кВт/с²;

$$Q = at^2, \quad (2)$$

t — время, прошедшее с момента возникновения пожара, с;

ρ_0 — плотность воздуха при нормальных условиях, $\rho_0 = 1,2$ кг/м³;

T_0 — температура воздуха при нормальных условиях, $T_0 = 293$ К;

g — ускорение свободного падения, *g* = 9,8 м/с²;

H — высота помещения, *H* = 4 м;

C_p — изобарическая теплоемкость воздуха, $C_p = 1$ кДж/кг;

A — площадь помещения, м².

Толщина слоя дыма в помещении *y* равна:

$$y = H - Z. \quad (3)$$

Подставляя вышеуказанные параметры в формулу, получим:

$$\begin{aligned} \text{при } t = 100 \text{ с} & \text{ — } y = 0,005 \text{ м;} \\ t = 200 \text{ с} & \text{ — } y = 0,38 \text{ м;} \\ t = 300 \text{ с} & \text{ — } y = 0,88 \text{ м.} \end{aligned}$$

Из формул (1), (3) определим время начала перетекания струи дыма через экран высотой *h*:

$$t = 4,76 A^{\frac{3}{5}} \left((H-h)^{-\frac{2}{3}} - H^{-\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{5}} \left(\frac{\rho_0 C_p T_0}{ag} \right)^{\frac{1}{5}}. \quad (4)$$

Подставим в формулу (4) исходные данные: *H* = 4 м, *h* = 0,5 м, *A* = 1200 м², $\rho_0 = 1,2$ кг/м³, $C_p = 1$ кДж/кг, $T_0 = 293$ К, *a* = 0,0225 кВт/с², *g* = 9,8 м/с. Получим для высоты экрана 0,5 м:

$$\begin{aligned} t &= 4,76 \cdot 1200^{\frac{3}{5}} \left((4-0,5)^{-\frac{2}{3}} - 4^{-\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{5}} \times \\ &\times \left(\frac{1,2 \cdot 1 \cdot 293}{0,025 \cdot 9,8} \right)^{\frac{1}{5}} = 185 \text{ с.} \end{aligned}$$

Результаты полевого моделирования процесса перетекания струи дыма через экран

Более детальные данные по распространению опасных факторов пожара через проемы в перекрытиях, блокированию эвакуационных выходов можно получить, используя полевое моделирование пожара по Методике определения расчетных величин

пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности (далее — Методика)⁴, а также результаты работ [8–10].

На рис. 4 показаны характерные картины распространения опасных факторов пожара для стадии развитого перетекания струи из помещения с проемом при различных высотах экранов. Представлены результаты для ведущего фактора пожарной опасности — потери видимости.

⁴ Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности (с изменениями на 2 декабря 2015 г.): утверждена приказом МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382.

Представленные данные показывают, что перетекание дыма в помещении верхнего этажа происходит по всему периметру проема.

Важным показателем эффективности устройства экранов является время блокирования ОФП открытой лестницы, установленной в проеме перекрытия. Примем за момент блокирования лестницы время появления ОФП в объеме прямоугольного параллелепипеда, ограниченного полом первого этажа, перекрытием второго этажа с площадью основания, равной площади проема (рис. 5).

В табл. 1 представлены оценки времени блокирования эвакуационных выходов из помещений, а также центральной открытой лестницы.

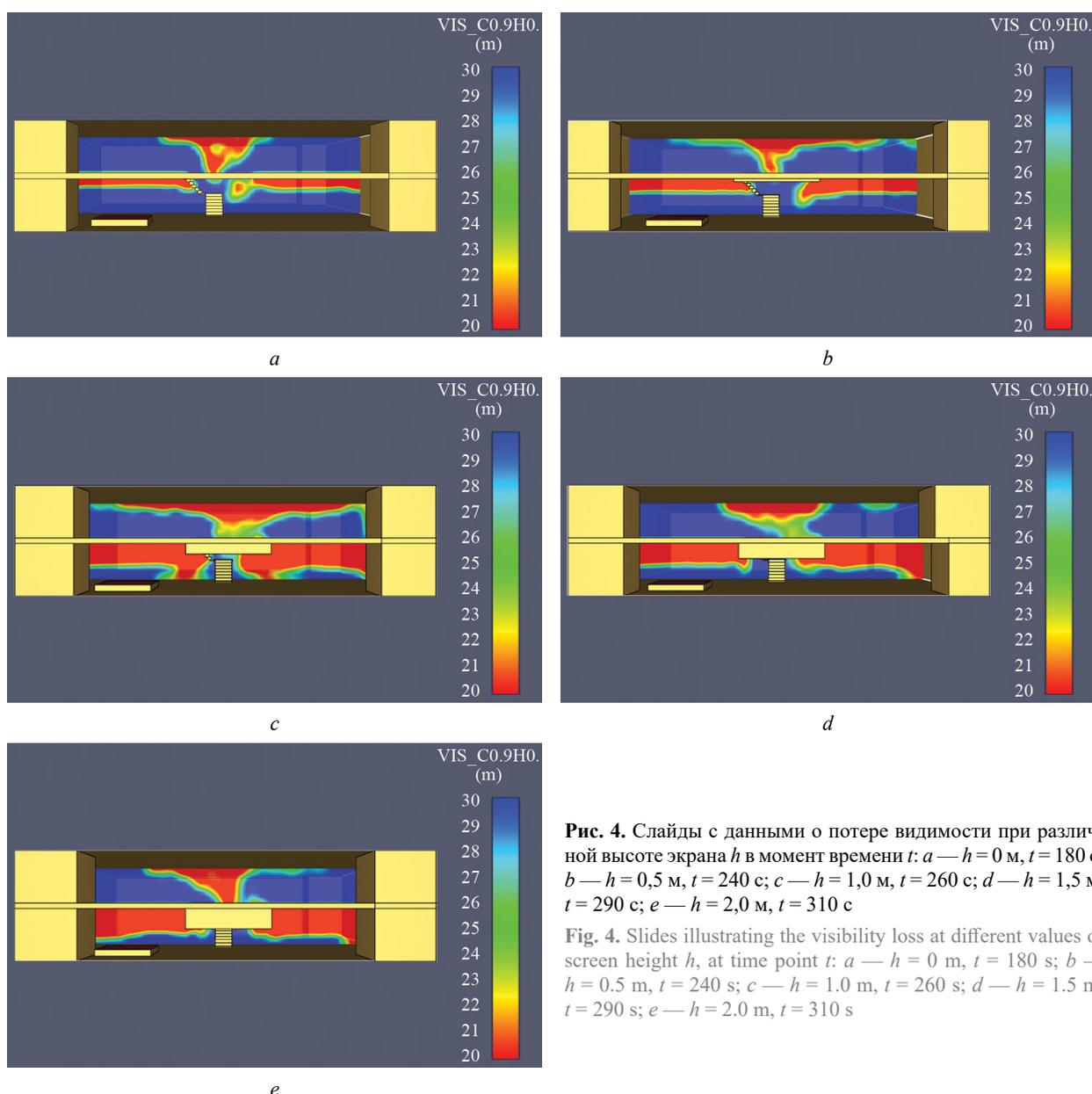


Рис. 4. Слайды с данными о потере видимости при различной высоте экрана h в момент времени t : a — $h = 0$ м, $t = 180$ с; b — $h = 0,5$ м, $t = 240$ с; c — $h = 1,0$ м, $t = 260$ с; d — $h = 1,5$ м, $t = 290$ с; e — $h = 2,0$ м, $t = 310$ с

Fig. 4. Slides illustrating the visibility loss at different values of screen height h , at time point t : a — $h = 0$ m, $t = 180$ s; b — $h = 0.5$ m, $t = 240$ s; c — $h = 1.0$ m, $t = 260$ s; d — $h = 1.5$ m, $t = 290$ s; e — $h = 2.0$ m, $t = 310$ s

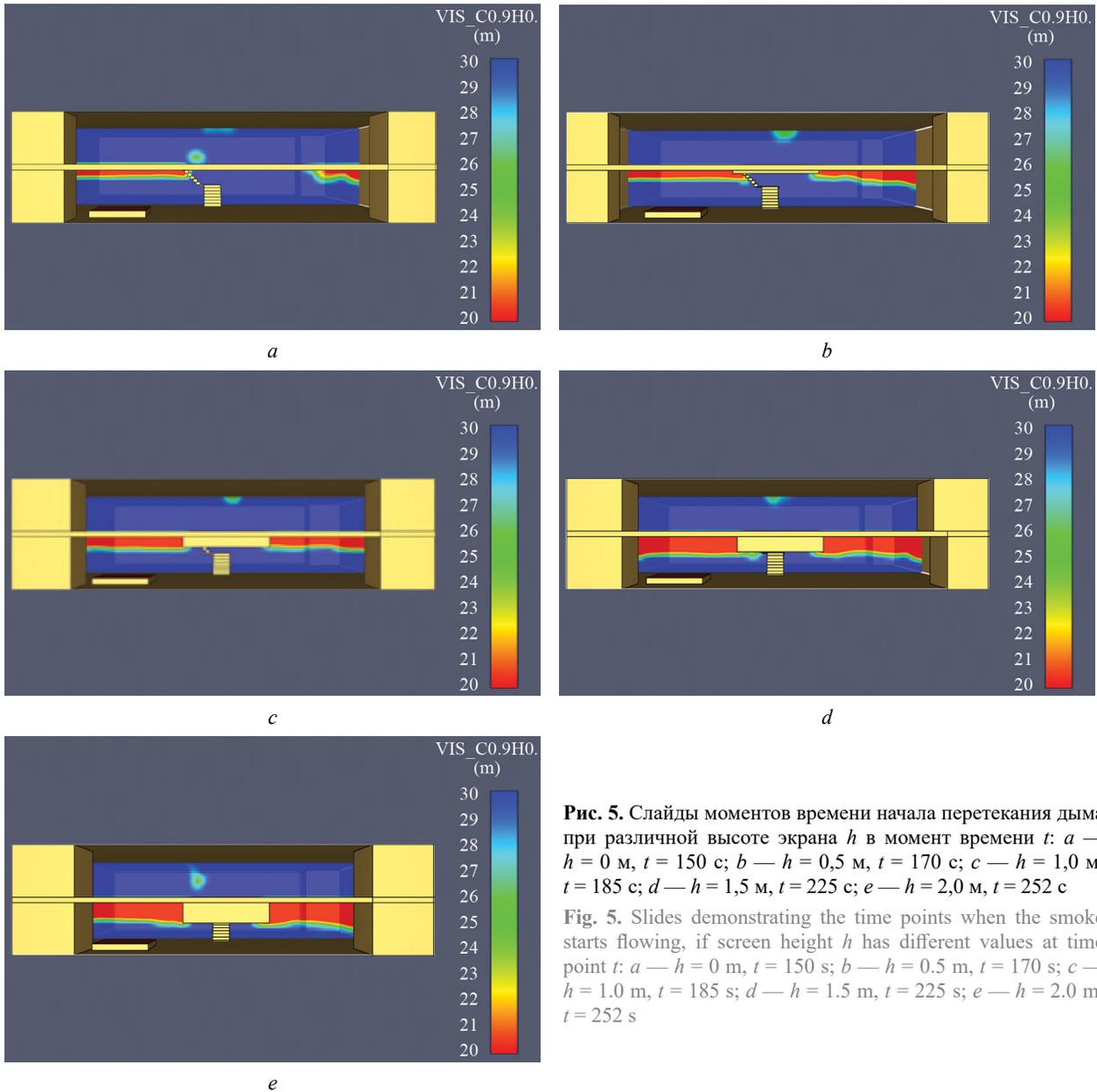


Рис. 5. Слайды моментов времени начала перетекания дыма при различной высоте экрана h в момент времени t : a — $h = 0$ м, $t = 150$ с; b — $h = 0,5$ м, $t = 170$ с; c — $h = 1,0$ м, $t = 185$ с; d — $h = 1,5$ м, $t = 225$ с; e — $h = 2,0$ м, $t = 252$ с

Fig. 5. Slides demonstrating the time points when the smoke starts flowing, if screen height h has different values at time point t : a — $h = 0$ m, $t = 150$ s; b — $h = 0.5$ m, $t = 170$ s; c — $h = 1.0$ m, $t = 185$ s; d — $h = 1.5$ m, $t = 225$ s; e — $h = 2.0$ m, $t = 252$ s

Таблица 1. Влияние высоты экрана на характеристики системы

Table 1. The influence of the screen height on the system characteristics

| Высота экрана, h , м Screen height h , m | Время блокирования ОФП центральной открытой лестницы В7, с Time sufficient for the blocking of hazardous fire factors on central stairway V7, s | Время блокирования эвакуационных выходов, с Emergency exit blocking time, s | | | | | |
|---|--|--|---------|---------|-----------------------|---------|---------|
| | | В1 / V1 | В2 / V2 | В3 / V3 | В4 / V4 | В5 / V5 | В6 / V6 |
| 0 | 150 | Блокирован Blocked | 280 | 190 | Блокирован Blocked | 285 | 250 |
| 0,5 | 170 | | 270 | 200 | | 320 | 275 |
| 1 | 185 | | 265 | 190 | | 320 | 310 |
| 1,5 | 225 | | 250 | 180 | | 360 | 345 |
| 2,0 | 252 | | 250 | 180 | | 365 | 370 |

В табл. 2 приведены параметры процесса эвакуации людей со второго и первого этажей здания.

Таблица 2. Время завершения эвакуации в характерных точках на путях эвакуации

Table 2. Evacuation completion time at characteristic points of the evacuation route

| B1 V1 | B2 V2 | B3 V3 | B4 V4 | B5 V5 | B6 V6 | Центральная лестница, B7 Central stairway V7 |
|-----------------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|--|
| Блокирован Blocked | 137 | 136 | Блокирован Blocked | 97 | 107 | 35 |

Максимальное уменьшение доступного времени эвакуации [11–14] для выходов из первого этажа:

$$t = t_{\text{бл}} - t_{\text{эв}}, \quad (5)$$

где $t_{\text{бл}}$ — время от момента возникновения пожара до момента блокирования ОФП путей эвакуации, с, (ASET)⁵;

$t_{\text{эв}}$ — время от момента возникновения пожара до завершения эвакуации, с, составляет до 30 с.

При этом доступное время эвакуации со второго этажа может возрастать за счет устройства экранов до 120 с.

Анализ результатов моделирования

1. Установка экранов на этаже вокруг проемов в перекрытиях увеличивает доступное для эвакуации время с верхних этажей, но сокращает безопасное время эвакуации для этажа с экранами, что согласуется с данными⁵ [12].

2. Особенности объемно-планировочных и конструктивных решений здания могут усиливать вышеуказанный отрицательный фактор установки экранов. Например, наличие проходных лестничных клеток для эвакуации с первого этажа здания может приводить к тому, что время эвакуации из зальных помещений первого этажа превысит время эвакуации из помещений второго этажа, согласно Методике [8].

3. На время блокирования ОФП эвакуационных выходов влияет не только высота экрана, но и мощность, динамика и месторасположение очага пожара на этаже [15].

4. Относительное изменение времени блокирования эвакуационных выходов на втором этаже выше, чем на первом этаже.

⁵ BS 7974. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — code of practice. UK : British Standard Institution, 2001.

Алгоритм выбора рациональной высоты экранов

Критерии целесообразности использования экрана можно записать в виде (для объекта с проемом в перекрытии для открытой лестницы):

$$t_{\text{бл}} > t_p + t_{\text{нэ}}, \quad (6)$$

где t_p — расчетное время эвакуации, с;

$t_{\text{нэ}}$ — время начала эвакуации, с.

Таким образом, предлагается следующая методика двухэтапного выбора рационального варианта высоты экранов.

На первом этапе решается задача эвакуации. В результате для эвакуационных выходов определяется время завершения эвакуации t_{pi} (где i — номер эвакуационного выхода, $i = 1 \dots N$, где N — число рассматриваемых в работе выходов). Далее для выбранного типа системы оповещения объекта, согласно Методике и [8], определяются допустимые значения необходимого времени эвакуации, времени блокирования i -го эвакуационного выхода с этажа.

На втором этапе решается задача оценки динамики ОФП в помещениях здания для различных значений высоты экрана h . В результате выбирается рациональная высота экранов, при которой выполняется критерий (6).

Выводы

1. Установка экранов под перекрытиями с проемами на этажах общественных зданий позволяет решить ряд задач по обеспечению безопасной эвакуации людей при пожаре из здания:

- расширить диапазон времени для эвакуации по открытым лестницам в проемах перекрытий с верхних этажей здания;
- повысить эффективность противодымной вентиляции с этажей здания путем создания резервуаров дыма.

2. При установке экранов уменьшается необходимое время эвакуации (время блокирования эвакуационных выходов) с этажей здания, оборудованных экранами.

3. Вопросы целесообразности установки и выбора рациональной высоты экрана должны определяться на основе совместного решения задачи эвакуации и динамики ОФП в многосветном пространстве.

4. При решении вопроса установки экранов и выбора их высоты необходимо обеспечивать условие:

$$t_{\text{нэ}} + t_p < t_{\text{бл}},$$

как для места установки открытой лестницы в проеме, так и для эвакуационных выходов в здании с этажей многосветного пространства.

5. Предложено решение вопросов по установке экранов проводить в два этапа:

- при принятых объемно-планировочных решениях здания решается задача эвакуации, в результате которой определяются времена использования эвакуационных выходов;
- на основе полевого моделирования устанавливается целесообразность применения экранов и их высота, при которой выполняется критерий (6).

В случае невозможности выполнения критерия (6) по всем эвакуационным выходам с этажей здания установка экранов в рассматриваемой части здания нецелесообразна.

6. Рассмотренный пример показывает многофакторность принятия обоснованного решения по устройству экранов даже для относительно простого по объемно-планировочным решениям здания.

7. Сложно выработать надежное решение для многофункциональных зданий в рамках задачи синтеза параметров экранов вокруг проемов в перекрытиях, так как решение принимается оператором, анализирующим динамику ОФП на экране. При этом возникает вопрос о достоверности оценок, тем более, что на экране оператор работает с разрезами. По-видимому, в случае с весьма сложными зданиями можно говорить только о задаче анализа ОФП в здании с определенными параметрами экранов.

8. Нельзя заранее назначить высоту экранов. В каждом случае необходим индивидуальный подход, основанный на решении задач эвакуации и динамики ОФП в зданиях с многосветными пространствами. Все это соответствует концепции гибкого нормирования систем противопожарной защиты объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hansell G.O., Morgan H.P.* Design approaches for smoke control in atrium buildings : (BR 258) Building Research Establishment Report S. Borehamwood Herts, 1994. P. 57.
2. *Acherar L., Hui-Ying Wang, Garo J.-P., Coudour B.* Impact of air intake position on fire dynamics in mechanically ventilated compartment // *Fire Safety Journal*. 2020. Vol. 118. P. 103210. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103210
3. *McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Weinschenk C., Overholt K.* Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Vol. 3: Validation. National Institute of Standards and Technology, 2015.
4. *Van Coile R., Jomaas G., Bisby L.* Defining ALARP for fire safety engineering design VIA the life quality index // *Fire Safety Journal*. 2019. Vol. 107. Pp. 1–14. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.04.015
5. *Schadschneider A., Klingsch W., Kluepfel H., Kretz T., Rogsch C., Seyfried A.* Evacuation dynamics: Empirical results, modeling and applications // *Encyclopedia of complexity and system science*. Springer, New York, 2009. Pp. 3142–3176. DOI: 10.1007/978-0-387-30440-3_187
6. *Присадков В.И., Мушлакова С.В., Костерин И.В., Фадеев В.Е., Шамаев А.М.* Инженерный метод выбора рационального варианта противопожарной защиты объектов с экономической ответственностью // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2016. № 8. С. 49–57. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.49-57
7. *Chow W.K., Fong N.K., Cui E., Ho P.W., Wong L.T.* PolyU/USTC atrium: a full-scale burning facility-preliminary experiments // *Journal of Applied Fire Science*. 1998. Vol. 8. No. 3. Pp. 229–241.
8. *Холщевников В.В., Самошин Д.А., Парфененко А.П., Кудрин И.С., Истратов Р.Н., Белокохов И.П.* Эвакуация и поведение людей при пожарах. М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. С. 212.
9. *Heskestad G.* Fire plumes, flame height, and air entrainment // *Handbook of Protection Engineering*. 3rd Edition. Chapter 1. Springer, New York, 2016. Pp. 2–1, 2–17. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_13
10. *Purser D.A.* Combustion toxicity // *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 5th ed. Society of Fire Protection Engineers, 2016. P. 3493.
11. *Schröder B., Arnold L., Seyfried A.* A map representation of the ASET-RSET concept // *Fire Safety Journal*. 2020. Vol. 115. P. 103154. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103154
12. *Alpert R.L.* Ceiling jet flows // *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 3rd ed. Chapter 2. 2002. Pp. 2–18, 2–31.
13. *Lovreglio R., Kuligowski E., Gwynne S., Boyce K.* A pre-evacuation database for use in egress simulations // *Fire Safety Journal*. 2019. Vol. 105. Pp. 107–128. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.12.009

14. Schröder B. Multivariate methods for life safety analysis in case of fire : Ph.D. thesis. Universitätsbibliothek Wuppertal, 2017. 245 p.
15. Холщевников В.В., Присадков В.И., Костерин И.В. Совершенствование методологии определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях на основе стохастического описания определяющих их процессов и деревьев событий // Пожаро-взрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. Т. 26. № 1. С. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17

REFERENCES

1. Hansell G.O., Morgan H.P. *Design approaches for smoke control in atrium buildings : (BR 258) Building Research Establishment Report S.* Borehamwood Herts, 1994; 57.
2. Acherar L., Hui-Ying Wang, Garo J.-P., Coudour B. Impact of air intake position on fire dynamics in mechanically ventilated compartment. *Fire Safety Journal*. 2020; 118:103210. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103210
3. McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Weinschenk C., Overholt K. *Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Vol. 3: Validation.* National Institute of Standards and Technology, 2015.
4. Van Coile R., Jomaas G., Bisby L. Defining ALARP for fire safety engineering design VIA the life quality index. *Fire Safety Journal*. 2019; 107:1-14. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.04.015
5. Schadschneider A., Klingsch W., Kluepfel H., Kretz T., Rogsch C., Seyfried A. Evacuation dynamics: Empirical results, modeling and applications. *Encyclopedia of complexity and system science*. Springer, New York, 2009; 3142-3176. DOI: 10.1007/978-0-387-30440-3_187
6. Prasadkov V.I., Muslakova S.V., Kosterin I.V., Fadeev V.E., Shamaev A.M. Engineering method of selection of rational variant of fire protection of objects with economic responsibility. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 8:49-57. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.49-57 (rus).
7. Chow W.K., Fong N.K., Cui E., Ho P.W., Wong L.T. Polyu/ustc atrium: a full-scale burning facility-preliminary experiments. *Journal of Applied Fire Science*. 1998; 8(3):229-241.
8. Kholshchevnikov V.V., Samoshin D.A., Parfenenko A.P., Kudrin I.S., Istratov R.N., Belosokhov I.R. *Evacuation and behavior of people during fires*. Moscow, Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2009; 212. (rus).
9. Heskestad G. Fire plumes, flame height, and air entrainment. *Handbook of Protection Engineering*. Third Edition. Chapter 1. Springer, New York, 2016; 2-1,2-17. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_13
10. Purser D.A. Combustion toxicity. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th ed.* Society of Fire Protection Engineers, 2016; 3493.
11. Schröder B., Arnold L., Seyfried A. A map representation of the ASET-RSET concept. *Fire Safety Journal*. 2020; 115:103154. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103154 (rus).
12. Alpert R.L. Ceiling jet flows. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 3rd ed. Chapter 2*. 2002; 2-18, 2-31.
13. Lovreglio R., Kuligowski E., Gwynne S., Boyce K. A pre-evacuation database for use in egress simulations. *Fire Safety Journal*. 2019; 105:107-128. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.12.009
14. Schröder B. *Multivariate methods for life safety analysis in case of fire : Ph.D. thesis.* Universitätsbibliothek Wuppertal, 2017; 245.
15. Kholshchevnikov V.V., Prasadkov V.I., Kosterin I.V. Improvement methodology for determining the calculated value of the fire risk in buildings and structures based on stochastic description of determining their processes and trees events. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(1):5-17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17 (rus).

Поступила 30.10.2020, после доработки 14.12.2020;

принята к публикации 28.12.2020

Received October 30, 2020; Received in revised form December 14, 2020;

Accepted December 28, 2020

Информация об авторах

ПРИСАДКОВ Владимир Иванович, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; РИНЦ ID: 760543; ORCID: 0000-0002-2161-0794; e-mail: vniipo@mail.ru

УШАКОВ Дмитрий Викторович, начальник отдела моделирования пожаров и нестандартного проектирования, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; РИНЦ ID: 751772; ORCID: 0000-0003-2275-296X; e-mail: vniipo@mail.ru

АБАШКИН Александр Анатольевич, заместитель начальника отдела моделирования пожаров и нестандартного проектирования, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-6347-3257; e-mail: vniipo@mail.ru

ЗУЕВА Анна Станиславовна, научный сотрудник отдела пожарной безопасности промышленных объектов, технологий и моделирования техногенных аварий, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-9551-0569; e-mail: dawork18@gmail.com

Information about the authors

Vladimir I. PRISADKOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, 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, Russia Federation; ID RISC: 760543; ORCID: 0000-0002-2161-0794; e-mail: vniipo@mail.ru

Dmitriy V. USHAKOV, Head of Department of Fire Modeling and Non-Standard Design, 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, Russia Federation; ID RISC: 751772; ORCID: 0000-0003-2275-296X; e-mail: vniipo@mail.ru

Aleksandr A. ABASHKIN, Deputy Head of Department of Fire Modeling and Non-Standard Design, 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, Russia Federation; ORCID: 0000-0002-6347-3257; e-mail: vniipo@mail.ru

Anna S. ZUEVA, Researcher, Department of Fire Safety of Industrial Facilities, Technologies and Modeling of Technogenic Accidents, 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, Russia Federation; ORCID: 0000-0002-9551-0569; e-mail: dawork18@gmail.com

Об оценке эффективности спринклерной автоматической установки пожаротушения

© Л.Т. Танклевский^{1,2}, А.А. Таранцев^{2,3} ✉, О.А. Зыбина¹, И.А. Бабиков¹

- ¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)
- 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)
- ³ Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я Линия Васильевского острова, 13)

АННОТАЦИЯ

Введение. Ввиду случаев неэффективного срабатывания спринклерных автоматических установок пожаротушения (АУП), спроектированных в соответствии с действующими нормами, возникает необходимость решения трех задач: 1) выявления причин неэффективного срабатывания; 2) экспертизы смонтированных АУП на предмет успешного срабатывания при пожаре; 3) формулирования необходимых рекомендаций проектировщикам АУП. Эти задачи могут быть решены на основе разработанного Приложения В к новому СП 485.13130.2020.

Верхняя критическая высота установки спринклеров. На основе известных моделей развития пожара и динамики нагрева колбы спринклера АУП установлено, что существует предельная высота помещения, превышение которой не позволяет спринклерам активироваться своевременно. Это приводит к запаздыванию срабатывания АУП, вследствие чего площадь пожара превышает защищаемую спринклером площадь.

Допустимая высота установки спринклеров. Анализ сценариев пожара и полученные модели нагрева колбы позволяют с большей достоверностью определить возможность своевременного срабатывания АУП. Это, в свою очередь, позволяет решить три вышеперечисленные задачи.

Активация спринклеров от дифференциального теплового извещателя. В случае, когда для данного помещения установлено, что использование АУП с активацией спринклеров от теплового разрушения колбы неэффективно, рассмотрена возможность принудительной активации АУП от дифференциального теплового извещателя, реагирующего на скорость роста температуры в помещении. На основе полученных соотношений определена возможная высота помещений, защищаемых АУП с такими извещателями. На примере выставочного зала показана возможность решения задач выявления причины неэффективного срабатывания АУП, экспертизы смонтированных АУП и рекомендаций проектировщикам.

Выводы. С использованием Приложения В к новому СП 485.13130.2020 и приведенных моделей становится возможным решить вышеперечисленные задачи.

Ключевые слова: пожар; ороситель; нагрев колбы спринклера; критическая высота; принудительная активация

Для цитирования: Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Зыбина О.А., Бабиков И.А. Об оценке эффективности спринклерной автоматической установки пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 1. С. 42–53. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.42-53

✉ Таранцев Александр Алексеевич, e-mail: t__54@mail.ru

The efficiency assessment of an automatic sprinkler system

© Leonid T. Tanklevskiy^{1,2}, Alexander A. Tarantsev^{2,3} ✉, Olga A. Zyбина¹, Igor A. Babikov¹

- ¹ Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Polytechnicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, 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)
- ³ Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science (12-ya Liniya Vasil'evskogo ostrova, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Cases of ineffective activation of automatic sprinkler fire-fighting systems (AFFS), designed pursuant to current standards, have made it necessary to address the following three issues: a) identification of reasons for ineffective activation; b) examination of AFFS systems to ensure their successful activation in case of fire; c) making a list of recommendations for AFFS designers. These issues can be resolved with reference to Appendix B to new SP (Construction Regulations) 485.13130.2020.

Maximal critical height of sprinkler placement. Models of fire development were used to design the roof height limit and the AFFS bulb heating time. If the ceiling height exceeds the limit value, sprinklers cannot be activated in a timely manner. This leads to delays in the AFFS activation, and, as a result, the fire area exceeds the one safeguarded by the sprinkler.

Acceptable sprinkler height. The analysis of fire scenarios and bulb heating models allows to more accurately project the feasibility of timely AFFS activation. This, in turn, allows to solve the three above listed problems.

Using a differential heat detector to activate sprinklers. If it is established that the use of the AFFS, activating sprinklers by means of thermal destruction of a bulb, is ineffective in a given room, the feasibility of forced AFFS activation using a differential heat detector responding to the temperature rise in a room may be considered. The ratios, thus obtained, are applied to identify the acceptable height of premises protected by the AFFS equipped with such detectors. Problem solutions, including the identification of the reason for the ineffective operation of the AFFS, examination of the AFFS in operation, and provision of recommendations to designers, are demonstrated using the exhibition hall as an example.

Conclusions. The above-mentioned problems are resolvable with the help of Appendix B to new Construction Regulations 485.13130.2020 and the above models.

Keywords: fire; sprinkler system; sprinkler bulb heating; critical height; forced activation

For citation: Tanklevskiy L.T., Tarantsev A.A., Zybins O.A., Babikov I.A. The efficiency assessment of an automatic sprinkler system. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(1):42-53. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.42-53 (rus).

✉ Alexander Alexeevich Tarantsev, e-mail: t__54@mail.ru

Введение

Автоматические установки пожаротушения (АУП)¹ являются важной составляющей систем противопожарной защиты объектов. Важное место среди них занимают спринклерные водяные АУП с активацией посредством теплового разрушения запирающей колбы² (рис. 1). Проектирование таких АУП предполагает установку спринклеров в припотолочной зоне защищаемого помещения при условии защиты площади $S_{лик}$ каждым спринклером. Этим вопросам посвящены работы отечественных и зарубежных исследователей [1–18].

¹ СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты (СППЗ). Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : утвержден и введен в действие Приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. № 175.

² СТО 420541.00 (ВНПБ 40-16). Автоматические установки водяного пожаротушения АУП-Гефест. Проектирование : утвержден 16 марта 2015 г. председателем совета директоров группы компаний «Гефест» ; принят 1 марта 2016 г. ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

Тем не менее эксплуатация и функциональное применение спринклерных АУП выявили следующую проблему: по данным ВНИИПО МЧС России до 30 % АУП в случае пожара либо не срабатывают, либо, сработав, не выполняют свои функции. Если первая часть проблемы может объясняться отказами компонентов АУП, то вторая представляет собой парадоксальную ситуацию. В самом деле, как устанавливается впоследствии, такие АУП исправны на момент пожара, спроектированы в соответствии с предъявляемыми требованиями¹, качественно смонтированы и квалифицированно обслуживаются с необходимой периодичностью, срабатывают при пожаре, но пожар не могут ни потушить, ни даже локализовать, ради чего и создавались.

После анализа особенностей развития пожара [16–28] объяснение такому парадоксу нашел автор данной статьи. В самом деле, при большой высоте размещения спринклеров их запирающие термочувствительные колбы ввиду охлаждения конвек-



a



b

Рис. 1. Спринклерный ороситель «Аква-Гефест» с принудительным пуском (a) и АУП в действии (b)
Fig. 1. Aqua-Gefest sprinkler that has a forced activation system (a) and the sprinkler system in operation (b)

тивных продуктов горения не успевают прогреться до температуры активации $T_{\text{насп}}$ на момент, когда вся защищаемая спринклером площадь $S_{\text{лик}}$ будет полностью охвачена пламенем. Другими словами, при активации спринклера он подавит только часть площади пожара $S_{\text{п}}$, а на оставшейся части пожар будет развиваться, пока не сработает соседний спринклер, и т.д., и т.п., вплоть до включения всех спринклеров (так как срабатывание спринклеров будет запаздывать относительно роста площади пожара $S_{\text{п}}$) или пока не придут пожарные^{3, 4} и не ликвидируют пожар.

Таким образом, существует некоторая предельная высота защищаемого помещения, не оговоренная в нормативном документе¹, выше которой установка спринклеров бессмысленна, — АУП будет срабатывать, но свою функцию не выполнит. Также важным является определение высоты установки спринклеров, когда очаг пожара может быть смещен относительно вертикальной оси спринклера вплоть до худшего случая, когда очаг окажется на равном удалении от нескольких ближайших спринклеров.

Для учета этих особенностей проектирования АУП было разработано Приложение В «Методика оценки возможности использования спринклерной АУП» к своду правил (СП)⁵ (далее — Методика). Данная Методика может рассматриваться как рекомендательная и предназначена для решения следующих задач: выявление причины неэффективного срабатывания АУП; экспертиза действующей АУП

³ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ.

⁴ Боевой устав подразделений пожарной охраны, определяющий порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ : утвержден приказом МЧС от 16 октября 2017 г. № 444 ; зарегистрирован в Минюсте РФ 20 февраля 2018 г., регистрационный № 50100.

⁵ СП 485.13130.2020 СППЗ. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : утверждены приказом МЧС России от 31 августа 2020 г. № 628.

на предмет эффективности ее срабатывания при возможном пожаре и проектирование АУП.

Представляется необходимым дать некоторые пояснения и количественные оценки применительно к Приложению В к СП⁵ (далее используются те же обозначения, что и в Приложении В).

Верхняя критическая высота установки спринклера

Известно эмпирическое выражение для определения температуры продуктов горения $T_{\text{г}}$ вблизи припотолочной зоны горизонтального перекрытия помещения высотой H (рис. 2), где могут устанавливаться спринклеры с колбовой активацией [2]:

$$T_{\text{г}} - T_0 = K_{\text{т}}(H, r)Q^{2/3}, \quad (1)$$

где T_0 — начальная температура вблизи перекрытия, °С;

Q — мощность тепловыделения пожарной нагрузки;

r — проекционное расстояние от оси центра очага пожара до места установки спринклера (здесь и далее единицы измерения в СИ).

Коэффициент $K_{\text{т}}(H, r)$ имеет вид:

$$K_{\text{т}}(H, r) = \begin{cases} \frac{16,9}{H^{5/3}} & \text{при } H > 5,577 r; \\ \frac{5,3742}{Hr^{2/3}} & \text{при } H \leq 5,577 r. \end{cases} \quad (2)$$

Преобразовав выражения (1) и (2) относительно H и положив $\Delta T = T_{\text{г}} - T_0$, получим выражение для критической высоты $H_{\text{кр}}$, выше которой температура $T_{\text{г}}$ в припотолочной зоне не превысит величины $T_0 + \Delta T$:

$$H_{\text{кр}} = \min \left(\frac{5,4542Q^{0,4}}{\Delta T^{0,6}}, \frac{5,3742}{\Delta T} \left(\frac{Q}{r} \right)^{2/3} \right). \quad (3)$$

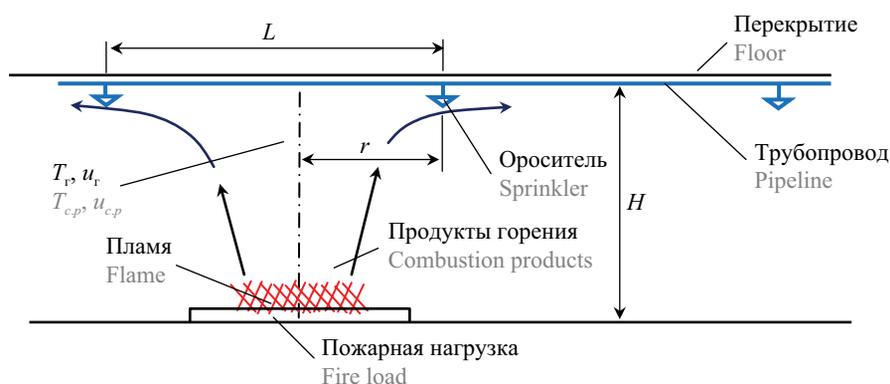


Рис. 2. Расчетная схема

Fig. 2. Design pattern

В случае пожара класса В³ (пролив легковоспламеняющейся (ЛВЖ) или горючей (ГЖ) жидкости на постоянной площади) тепловыделение может быть постоянно: $Q = \text{const}$, а при пожаре класса А:

$$Q = qS_{\text{лик}}, \quad (4)$$

где q — удельное тепловыделение, зависящее от вида пожарной нагрузки.

На начальной стадии пожара динамику его площади $S_{\text{п}}(t)$ можно оценить по выражению

$$S_{\text{п}}(t) = k_{\text{ф}}(Vt)^2, \quad (5)$$

где V — линейная скорость распространения пожара по горизонтальной поверхности пожарной нагрузки;

$k_{\text{ф}}$ — коэффициент формы (при круговой форме пожара $k_{\text{ф}} = \pi$);

t — время, отсчитываемое от начала пожара.

В частном случае, когда центр очага пожара находится непосредственно под спринклером (т.е. $r = 0$), из (2) и (3) можно найти предельно возможную высоту:

$$H_{\text{кр}} = 5,4542 \frac{Q^{0,4}}{\Delta T^{0,6}}. \quad (6)$$

Физический смысл величины $H_{\text{кр}}$ в том, что спринклер, установленный на высоте, большей $H_{\text{кр}}$, колба которого активируется при достижении температуры $T_{\text{г}} \geq T_{\text{пасп}}$ ($T_{\text{пасп}}$ — паспортное значение номинальной температуры срабатывания спринклерного оросителя с колбой) при начальной температуре T_0 , **никогда** не сможет потушить очаг пожара площадью S_3 , даже находящийся непосредственно под спринклером. Другими словами, мощность Q этого очага будет недостаточной, чтобы на высоте установки спринклера $H_{\text{кр}}$ температура продуктов горения в припотолочной зоне достигла величины $T_{\text{г}}$, поскольку площадь пожара $S_{\text{п}}$, приводящая к активации спринклера, всегда будет больше защищаемой спринклером площади $S_{\text{зик}}$. Эта высота в Приложении В с СП⁵ именуется *критической*.

Результаты оценки $H_{\text{кр}}$ по выражению (6) при $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{г}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ и $r = 0$ м приведены в табл. 1.

Таблица 1. Критическая высота для спринклерной АУП согласно (6)

Table 1. Critical height of a sprinkler system according to (6)

| | | | | | | | |
|--|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Q , кВт Q , kW | 500 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 |
| $H_{\text{кр}}$, м $H_{\text{кр}}$, m | 7,16 | 9,45 | 12,47 | 14,67 | 16,45 | 17,99 | 19,35 |

Допустимая высота установки спринклера

Однако и при высоте защищаемого помещения, меньшей $H_{\text{кр}}$, нет гарантии успешного срабатывания АУП, что, как было показано в работах [1–3], объясняется смещением центра очага пожара от оси спринклера на величину r (см. рис. 2) и тепловой инерционностью колбы (параметром RTI — K).

В работе [2] приведено выражение для оценки динамики прогрева колбы спринклерного оросителя (без учета теплоотдачи в конструкцию оросителя):

$$K \frac{dT_{\text{кол}}}{dt} = K_u(H, r)[qS_{\text{п}}(t)]^{1/6} (T_{\text{г}} - T_{\text{кол}}), \quad (7)$$

где $T_{\text{кол}}$ — температура колбы;

$K_u(H, r)$ — коэффициент, зависящий от скорости $u_{\text{г}}$ продуктов горения в припотолочной зоне:

$$K_u(H, r) = \begin{cases} \frac{0,98}{H^{1/6}} & \text{при } H > 6,775r; \\ \frac{0,4415H^{0,25}}{r^{5/12}} & \text{при } H \leq 6,775r. \end{cases} \quad (8)$$

В работе [2] и новой редакции СП⁵ приведено решение дифференциального уравнения (7) для случая кругового развития пожара класса А:

$$T_{\text{кол}} = T_0 + k_T [X - 1 + e^{-X}], \quad (9)$$

где $X = k_S S_{\text{лик}}^{2/3}$.

Коэффициенты k_T и k_S соответственно рассчитываются по выражениям:

$$k_T = KV\sqrt{q} \times \begin{cases} \frac{40,76}{H^{1,5}} & \text{при } H > 6,775r; \\ \frac{90,42r^{5/12}}{H^{23/12}} & \text{при } H \in [5,577r; 6,775r]; \\ \frac{28,76}{H^{5/4}r^{1/4}} & \text{при } H < 5,577r; \end{cases} \quad (10)$$

$$k_S = \frac{q^{1/6}}{KV} \times \begin{cases} \frac{0,415}{H^{1/6}} & \text{при } H > 6,775r; \\ \frac{0,187H^{1/4}}{r^{5/12}} & \text{при } H \leq 6,775r. \end{cases} \quad (11)$$

Из выражений (9)–(11) можно, положив $S_{\text{лик}} = S_{\text{п}}$, найти максимально допустимую высоту $H_{\text{д}}$, при которой даже при самом неблагоприятном расположении очага, когда он находится на равном удалении от ближайших оросителей, будет выполняться условие $T_{\text{кол}} \geq T_{\text{пасп}}$, т.е. вскрывшиеся оросители накроют очаг пожара. Наибольшая величина r при стандартном размещении спринклеров (ближайшие четыре спринклера образуют квадрат) — $r \approx 0,707L$, при линейном (например, коридор или тоннель) —

$r = 0,5L$, при сотовом (ближайшие три спринклера образуют равносторонний треугольник) — $r \approx 0,577L$.

Конечно, решение задачи по нахождению H_d возможно только численными методами [29], для чего разработана специальная компьютерная программа. На рис. 3 приведены расчетные данные о предельных высотах размещения спринклеров для различных защищаемых помещений.

Для определения критических высот $H_{кр}$ и H_d были использованы данные по характерным пожарным нагрузкам [30] из Приложения В к СП⁵ для различных групп помещений (табл. 2). Результаты расчетов при $K = 50 \text{ м}^{0,5} \cdot \text{с}^{0,5}$, $L = 4 \text{ м}$ и $S_{лик} = 12 \text{ м}^2$ показывают, например, что для выставочного зала $H_{кр} = 13,75 \text{ м}$, $H_d = 8,95 \text{ м}$; для типографии $H_{кр} = 9,91 \text{ м}$, $H_d = 6,60 \text{ м}$; для кабинета $H_{кр} = 12,88 \text{ м}$, $H_d = 4,23 \text{ м}$; для лесопильного цеха кабинета $H_{кр} = 13,59 \text{ м}$, $H_d = 3,58 \text{ м}$.

Активация спринклеров от дифференциального теплового извещателя

В случаях, когда эффективное применение АУП с активацией спринклеров от теплового разрушения

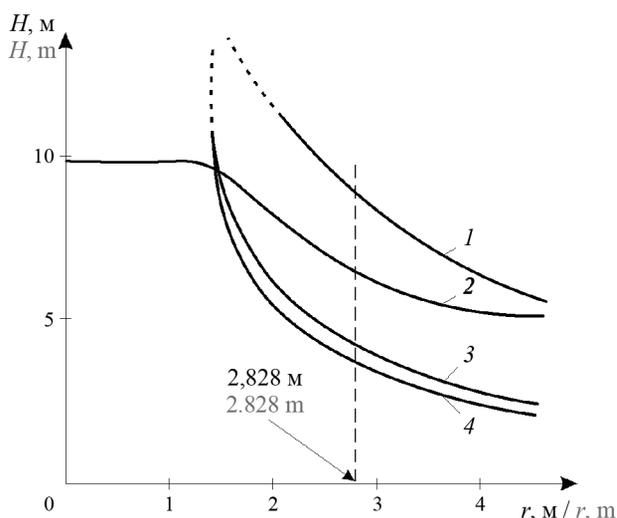


Рис. 3. Предельные высоты размещения спринклеров: 1 — выставочный зал; 2 — типография; 3 — кабинет; 4 — лесопильный цех; пунктирная линия соответствует проекционному расстоянию $r = 2,828 \text{ м}$

Fig. 3. Sprinkler limit height values: 1 — exhibition hall; 2 — printing house; 3 — office; 4 — sawmill. The dotted line corresponds to projection distance $r = 2.828 \text{ m}$

Таблица 2. Соотношение между группами помещений, защищаемых АУП, подклассами функциональной пожарной опасности (ФПО), классами и подклассами пожара и категориями взрывопожарной и пожарной опасности (КВПО, КПО)

Table 2. The ratio between sets of premises protected by sprinkler systems, functional fire hazard subclasses (FHS), fire classes and subclasses, explosion and fire hazard categories (EFHC, FHC)

| Группа помещений Set of premises | Перечень характерных помещений, производств, технологических процессов List of typical premises, production facilities, and technological processes | Подкласс ФПО FHS subclass | Класс и подкласс пожара Class and subclass of fire | КВПО, КПО EFHC, FHC |
|-------------------------------------|--|------------------------------|---|-------------------------------|
| 1 | Помещения / Rooms: | | | |
| | книгохранилищ и библиотек, фондохранилищ book depositories and libraries, museum depositories | Ф5.2 F5.2 | A1 | B1, B2 V1, V2 |
| | хранения горючих музейных ценностей depository of flammable museum exhibits | Ф5.2 F5.2 | A1 | B2, B3 V2, V3 |
| | цирков / circuses | Ф2.1 / F2.1 | A1 | — |
| | музеев, выставок, картинных галерей museums, exhibitions, art galleries | Ф2.2 F2.2 | A1 | — |
| | концертных и киноконцертных залов concert and cinema halls | Ф2.1 F2.1 | A1 | — |
| | ЭВМ / computer rooms | Ф4.3 / F4.3 | E, A2 | — |
| | магазинов / stores | Ф3.1 / F3.1 | A2 | — |
| | зданий управлений / office buildings | Ф4.3 / F4.3 | A2 | — |
| гостиниц / hotels | Ф1.2 / F1.2 | A1, A2 | — | |
| больниц / hospitals | Ф1.1 / F1.1 | A1, A2 | — | |
| 2 | Помещения / Premises accommodating: | | | |
| | деревообрабатывающего, текстильного, трикотажного, текстильно-галантерейного, табачного, обувного, кожевенного, мехового, целлюлозно-бумажного и печатного производств woodworking, textile, knitwear, textile and haberdashery, tobacco, footwear, leather, fur, pulp and paper production facilities and printing houses; | Ф5.1 F5.1 | A1 | Б, В, В1–В3 B, V, V1–V3 |

| Группа помещений Set of premises | Перечень характерных помещений, производств, технологических процессов List of typical premises, production facilities, and technological processes | Подкласс ФПО FHS subclass | Класс и подкласс пожара Class and subclass of fire | КВПО, КПО EFHC, FHC |
|--|---|------------------------------|---|----------------------------|
| 2 | окрасочных, пропиточных, малярных, смесеприготовительных, обезжиривания, консервации и расконсервации, промывки деталей с применением ЛВЖ и ГЖ dyeing, inhibition, painting, mixing, degreasing, preservation and de-conservation, washing using flammable and combustible liquids | Ф5.1 F5.1 | В V | А, Б, В2 А, В, V2 |
| | производства ваты, искусственных и пленочных материалов, швейной промышленности production of cotton wool, artificial materials and films, clothing industry | | А1 | Б, В, В1–В3 В, V, V1–V3 |
| | производств с применением резинотехнических изделий production involving rubber products | | А2 | В1–В3 V1–V3 |
| | предприятий по обслуживанию автомобилей car service companies | | А1, А2, В1 А1, А2, V1 | В1–В3 V1–V3 |
| | гаражи и стоянки garages and parking lots | Ф5.2 F5.2 | А1, А2, Б А1, А2, В | В2, Вн V2, Vn |
| 3 | Помещения для производства резинотехнических изделий Premises accommodating the production of rubber products | | А2 | В1, В2 V1, V2 |
| 4 | Помещения для производства горючих натуральных и синтетических волокон Premises accommodating the production of combustible natural and synthetic fibers: | Ф5.1 F5.1 | А1, А2 | Б, В1, В2 В, V1, V2 |
| | окрасочные и сушильные камеры painting and drying chambers; | | | А, Б А, В |
| | участки открытой окраски и сушки краско-, лако-, клееприготовительных производств с применением ЛВЖ и ГЖ areas for open-air painting and paint/varnish drying, glue-making using flammable and combustible liquids | | В1, В2 V1, V2 | Ан, Бн An, Bn |
| 4.1 | машинные залы компрессорных станций, станций регенерации, гидрирования, экстракции Machinery halls that accommodate compressor stations, regeneration, hydrogenation, extraction stations | | С | А, Б А, В |
| | помещения производств, в которых обращаются горючие газы, бензин, спирты, эфиры и др. ЛВЖ и ГЖ premises accommodating production facilities that entail the use of hot gases, gasoline, alcohols, ethers, etc., flammable and combustible liquids | | С, В1, В2 С, V1, V2 | А, Б А, В |
| 5 | Склады / Warehouses: | | | |
| | негорючих материалов в горючей упаковке non-combustible materials in combustible packaging; | Ф5.1 F5.1 | А1 | В3 V3 |
| трудногорючих материалов / non-flammable materials | | | | |
| 6 | Склады твердых горючих материалов, в т.ч. резины, РТИ, каучука, смолы Warehouses for solid combustible materials, including rubber, rubber products, gum elastic, resin | | А2 | В1, В2 V1, V2 |
| 7 | Склады лаков, красок, ЛВЖ, ГЖ / Warehouses for lacquers and paints, flammable and combustible liquids | | В1, В2 V1, V2 | А, Б А, В |

Примечания: 1. Класс и подкласс пожара указаны ориентировочно, их нужно уточнять с учетом конкретной пожарной нагрузки.
2. КВПО и КПО указаны ориентировочно, их нужно рассчитывать по СП 12.13130.2009 «Определение категорий зданий, помещений и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

Notes: 1. The class and subclass of the fire are indicated approximately, they need to be specified taking into account the specific fire load.
2. EFHC, FHC are given approximately, they need to be calculated according to SP 12.13130.2009 "Definition of categories of buildings, premises and outdoor installations for explosion and fire hazard".

колбы не гарантируется (например, высота помещения больше $H_{\text{д}}$, а изменить расстояние L и порядок размещения спринклеров невозможно), целесообразно использовать активацию от дифференциальных тепловых пожарных извещателей (ДТПИ), реагирующих на скорость изменения температуры продуктов горения.

Из выражений (1), (2), (4) и (5) для круговой формы пожара класса А можно оценить скорость роста температуры продуктов горения в припотолочной области:

$$\frac{dT_{\Gamma}}{dt} \approx 2,86K_{\Gamma}(H, r)q^{2/3}V^{4/3}t^{1/3}. \quad (12)$$

Полагая, что ДТПИ сработает при скорости роста температуры

$$\frac{dT_{\Gamma}}{dt} \geq \theta_{\text{пасп}}. \quad (13)$$

($\theta_{\text{пасп}}$ — паспортная величина срабатывания ДТПИ, например, $5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$), высоту гарантированной активации спринклера можно найти из выражения:

$$H_{\text{ДТПИ}} = \min \begin{cases} 10,246q^{0,4} \left(\frac{V}{\theta_{\text{пасп}}} \right)^{0,6} \left(\sqrt{\frac{S_{\text{лик}}}{\pi}} - t_{\text{и}}V \right)^{0,2}; \\ 15,37 \left(\frac{q}{r} \right)^{2/3} \frac{V}{\theta_{\text{пасп}}} \left(\sqrt{\frac{S_{\text{лик}}}{\pi}} - t_{\text{и}}V \right)^{1/3}, \end{cases} \quad (14)$$

где $t_{\text{и}}$ — инерционность активации спринклера ($t_{\text{и}} < V^{-1} \sqrt{S_{\text{лик}}/\pi}$), т.е. суммарное время задержки передачи сигнала и времени активации оросителя.

Время активации ДТПИ $t_{\text{д}}$, соответствующее выполнению условия (13), и приведено в выражении (В.14) Приложения В свода правил⁵:

$$t_{\text{д}} = \frac{\theta_{\text{пасп}}^3}{q^2 V^4} \times \begin{cases} 8,86 \cdot 10^{-5} H^5 & \text{при } H > 5,577r; \\ 2,75 \cdot 10^{-4} H^3 r^2 & \text{при } H \leq 5,577r. \end{cases} \quad (15)$$

Тогда площадь пожара на момент подачи воды спринклерами составит:

$$S_{\text{п}} = \pi [V(t_{\text{д}} + t_{\text{и}})]^2. \quad (16)$$

При этом должно выполняться необходимое условие: $S_{\text{п}} \leq S_{\text{лик}}$.

Примеры

Пример 1. Пожар произошел в выставочном зале (согласно Приложению В к СП⁵: $q = 213 \text{ кВт}/\text{м}^2$, $V = 0,016 \text{ м}/\text{с}$) высотой $H = 10 \text{ м}$, защищенном спринклерной АУП ($K = 50 \text{ м}^{0,5} \cdot \text{с}^{0,5}$, $S_{\text{лик}} = 12 \text{ м}^2$, $T_{\text{пасп}} = 60^{\circ}\text{C}$). АУП на момент пожара была исправна, сработала, но не выполнила функцию — оросители вскрывались, но пожар продолжался, пока его не потушили прибывшие пожарные караулы.

Требуется определить, могла ли эта АУП сработать эффективно, т.е. подавить пожар до прибытия пожарных, если на момент пожара $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$.

Найдем критическую высоту $H_{\text{кр}}$ по выражению (6) при $r = 0$:

$$H_{\text{кр}} = 5,4542 \frac{(213 \cdot 12)^{0,4}}{(60 - 20)^{0,6}} \approx 13,75 \text{ м}.$$

Поскольку $H = 10 \text{ м} < 13,75 \text{ м}$, АУП теоретически могла эффективно сработать, но этому, возможно, помешало большое проекционное расстояние r между оросителем и центром очага пожара (см. рис. 2). Дополнительно проведенное исследование места пожара позволило установить, что $r = 2,6 \text{ м}$.

Учитывая, что $H/r = 3,846 < 5,577$, в соответствии с выражениями (10) и (11) находим коэффициенты k_T и k_S :

$$k_T = 28,76 \frac{K \sqrt{q} V}{H^{1,25} r^{0,25}} = 28,76 \frac{50 \sqrt{213} \cdot 0,016}{10^{1,25} 2,6^{0,25}} = 14,87;$$

$$k_S = 0,187 \frac{q^{1/6} H^{0,25}}{K V r^{5/12}} = 0,187 \frac{213^{1/6} 10^{0,25}}{50 \cdot 0,016 \cdot 2,6^{5/12}} = 0,682.$$

Учитывая, что $X = 0,682 \cdot 12^{2/3} = 3,575$, из (9) находим температуру колбы на момент, когда $S_{\text{п}} = 12 \text{ м}^2$:

$$T_{\text{кол}} = 20 + 14,87 [3,575 - 1 + e^{-3,575}] = 58,71^{\circ}\text{C}.$$

Таким образом, $T_{\text{кол}} = 58,71^{\circ}\text{C} < T_{\text{пасп}} = 60^{\circ}\text{C}$ — ороситель вовремя активироваться не смог, отчего и АУП, сработав с запозданием, не выполнила свою функцию. Этому можно найти подтверждение на рис. 3, если провести горизонтальную линию $H = 10 \text{ м}$ до кривой I , то точка пересечения будет левее пунктирной линии $r = 2,828 \text{ м}$.

Пример 2. Выставочный зал, аналогичный рассмотренному в предыдущем примере ($q = 213 \text{ кВт}/\text{м}^2$, $V = 0,016 \text{ м}/\text{с}$, $H = 10 \text{ м}$, $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$), защищен спринклерной АУП ($K = 50 \text{ м}^{0,5} \cdot \text{с}^{0,5}$, $S_{\text{лик}} = 12 \text{ м}^2$, $T_{\text{пасп}} = 60^{\circ}\text{C}$, оросители расположены квадратной сеткой с шагом $L = 4 \text{ м}$). У администрации выставочного зала возникли сомнения в части эффективности такой АУП при возможном пожаре, в связи с чем проведена соответствующая экспертиза согласно Приложению В к СП⁵.

Как и в предыдущем примере, по выражению (3) при $r = 0$ найдена критическая высота $H_{\text{кр}} = 13,75 \text{ м}$, что свидетельствует о потенциальной возможности защиты выставочного зала данной АУП.

Но нужно учесть и худший сценарий, когда $r = \lambda L = 0,707 \cdot 4 = 2,828 \text{ м}$.

Учитывая, что $H/r = 3,534 < 5,577$, в соответствии с выражениями (10) и (11) находим коэффициенты k_T и k_S :

$$k_T = 28,76 \frac{50\sqrt{213} \cdot 0,016}{10^{1,25} \cdot 2,828^{0,25}} = 14,35;$$

$$k_S = 0,187 \frac{213^{1/6} \cdot 10^{0,25}}{50 \cdot 0,016 \cdot 2,282^{5/12}} = 0,659.$$

Учитывая, что $X = 0,659 \cdot 12^{2/3} = 3,454$, из (9) находим температуру колбы на момент, когда $S_{\text{п}} = 12 \text{ м}^2$:

$$T_{\text{кол}} = 20 + 14,35 \left[3,454 - 1 + e^{-3,454} \right] = 55,67 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Таким образом, $T_{\text{кол}} = 55,67 \text{ }^\circ\text{C} < T_{\text{пасп}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ — АУП работает с запозданием и не сможет эффективно защитить выставочный зал. На момент активации оросителя площадь пожара составит $S_{\text{п}} = 14,12 \text{ м}^2$.

В этой связи можно предложить два варианта модернизации АУП: установить спринклеры с повышенной защищаемой площадью $S_{\text{лик}} = 16 \text{ м}^2$ или применить принудительный пуск от ДТПИ.

Первый вариант сразу позволит решить проблему, поскольку $S_{\text{п}} = 14,12 \text{ м}^2 < 16 \text{ м}^2$. Однако он приведет к нежелательно большому расходу воды.

Второй вариант потребует проведения расчетов. Пусть система с ДТПИ будет иметь следующие параметры: $\theta_{\text{пасп}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин} = 0,083(3) \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ и $t_{\text{и}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$. Высоту гарантированной активации $H_{\text{д}}$ найдем из выражения (14):

$$H_{\text{ДТПИ}} = \min \left\{ \begin{aligned} & 10,246 \cdot 213^{0,4} \left(\frac{0,016}{0,08333} \right)^{0,6} \times \\ & \times \left(\sqrt{\frac{12}{\pi}} - 90 \cdot 0,016 \right)^{0,2} = 39,58 \text{ м}; \\ & 15,37 \left(\frac{213}{2,828} \right)^{2/3} \frac{0,016}{0,08333} \times \\ & \times \left(\sqrt{\frac{12}{\pi}} - 90 \cdot 0,016 \right)^{1/3} = 42,16 \text{ м}. \end{aligned} \right. =$$

$= 39,58 \text{ м} > 10 \text{ м}.$

Это свидетельствует о том, что ДТПИ своевременно активирует сразу четыре спринклера, если очаг пожара будет между ними.

Время активации ДТПИ $t_{\text{д}}$ найдем из выражения (15):

$$t_{\text{д}} = 2,75 \cdot 10^{-4} \frac{\theta_{\text{пасп}}^3 H^5 r^2}{q^2 V^4} =$$

$$= 2,75 \cdot 10^{-4} \frac{0,08333^3 \cdot 10^5 \cdot 2,828^2}{213^2 \cdot 0,016^4} = 42,16 \text{ с}.$$

Площадь пожара $S_{\text{п}}$ на момент подачи воды спринклерами, согласно выражению (16), будет равна: $S_{\text{п}} = \pi [0,016(42,16 + 90)]^2 = 14,05 \text{ м}^2$.

Таким образом, активация АУП от ДТПИ также позволит обеспечить эффективное срабатывание АУП и защитить выставочный зал от пожара.

Пример 3. Требуется защитить выставочный зал, аналогичный рассмотренному в предыдущих примерах ($q = 213 \text{ кВт}/\text{м}^2$, $V = 0,016 \text{ м}/\text{с}$, $H = 10 \text{ м}$, $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Сначала рассмотрим возможность применения спринклерной АУП с параметрами: $K = 50 \text{ м}^{0,5} \cdot \text{с}^{0,5}$, $S_{\text{лик}} = 12 \text{ м}^2$, $T_{\text{пасп}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, $L = 4 \text{ м}$. Как показано в предыдущем примере, такая АУП не сможет эффективно сработать, если очаг пожара находится на равном удалении $r = 2,828 \text{ м}$ от соседних четырех оросителей.

Там же показано, что пожар может быть потушен, если каждый ороситель может защитить площадь $S_{\text{лик}} = 16 \text{ м}^2$ или если применить активацию с помощью ДТПИ с параметрами:

$$\theta_{\text{пасп}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин} = 0,083(3) \text{ }^\circ\text{C}/\text{с} \text{ и } t_{\text{и}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Однако представляется интересным оценить, может ли спринклерная АУП защитить выставочный зал, если расстояние между оросителями снизить до $L = 3,5 \text{ м}$. Поскольку, как и ранее, $H_{\text{кр}} = 13,75 \text{ м} > H = 10 \text{ м}$, оценим худший вариант пожара, когда его очаг будет находиться между четырьмя оросителями, на расстоянии $r = 0,707L = 2,475 \text{ м}$.

В соответствии с выражениями (10) и (11) найдем коэффициенты k_T и k_S :

$$k_T = 28,76 \frac{50\sqrt{213} \cdot 0,016}{10^{1,25} \cdot 2,475^{0,25}} = 15,05;$$

$$k_S = 0,187 \frac{213^{1/6} \cdot 10^{0,25}}{50 \cdot 0,016 \cdot 2,475^{5/12}} = 0,696.$$

Учитывая, что $X = 0,696 \cdot 12^{2/3} = 3,650$, из (9) находим температуру колбы на момент, когда $S_{\text{п}} = 12 \text{ м}^2$:

$$T_{\text{кол}} = 20 + 15,05 \left[3,65 - 1 + e^{-3,65} \right] = 60,27 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Таким образом, $T_{\text{кол}} = 60,27 \text{ }^\circ\text{C} > T_{\text{пасп}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ — АУП сможет эффективно защитить выставочный зал.

Выводы

С учетом вышеизложенного можно заключить, что применение Приложения В к СП 485.13130.2020 позволит решать следующие задачи:

- выявить возможную причину неэффективного срабатывания АУП при пожаре;
- провести экспертизу ранее смонтированной АУП на предмет оценки эффективности ее срабатывания при пожаре;
- дать рекомендации для проектировщика по выбору параметров АУП и способа ее включения при пожаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Танклевский Л.Т., Бабилов И.А., Таранцев А.А., Зыбина О.А.* Об уточненной оценке координат очага пожара в помещении // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2020. Т. 29. № 3. С. 33–43. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.03.33-43
2. *Таранцев А.А., Танклевский Л.Т., Снегирев А.Ю., Цой А.С., Копылов С.Н., Меишман Л.М.* Оценка эффективности спринклерной установки пожаротушения // *Пожарная безопасность*. 2015. № 1. С. 72–79.
3. *Бабилов И.А., Танклевский А.Л., Таранцев А.А.* О способе определения группы принудительно активируемых оросителей при возникновении пожара в помещении // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2019. № 3 (51). С. 34–41.
4. *Tanklevskiy L., Tsoy A., Snegirev A.* Electrically controlled dynamic sprinkler activation: computational assessment of potential efficiency // *Fire Safety Journal*. 2017. Vol. 91. Pp. 614–623. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.04.019
5. *Tanklevskiy L., Vasiliev M., Meshman L., Snegirev A., Tsoi A.* A novel methodology of electrically controlled sprinkler activation // *Proceedings of the 13th International conference Interflam 2013*. London, 2013. Pp. 503–508.
6. *Tsoi A., Snegirev A., Tanklevskiy L., Sheinman I.* Flame suppression by water sprays: exploring capabilities and failures of FDS // *Proceedings of the Seventh International Seminar Fire and Explosion Hazards*. Research Publ., 2013. Pp. 482–491. DOI: 10.3850/978-981-07-5936-0_07-05
7. *Xin Yibing, Burchesky K., de Vries J., Magistrale H., Zhou X., D'Aniello S.* SMART sprinkler protection for highly challenging fires — Part 1: System design and function evaluation // *Fire Technology*. 2016. Vol. 53. No. 5. Pp. 1847–1884. DOI: 10.1007/s10694-017-0662-2
8. *Груданова О.В., Таранцев А.А., Королева Л.А.* Об экономической оценке двух путей модернизации автоматических установок пожаротушения // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2007. № 1. С. 38–42.
9. *Kopylov S., Tanklevskiy L., Vasilev M., Zima V., Snegirev A.* Advantages of electronically controlled sprinklers (ECS) for fire protection of tunnels // *Proceedings from the Fifth International Symposium on Tunnel Safety and Security*, New York, USA, March 14-16, 2012. Vol. 1. SP Technical Research Institute of Sweden, 2012. Pp. 87–92. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962674/FULLTEXT01.pdf#page=88>
10. *Меишман Л.М., Цариченко С.Г., Былинкин В.А., Алешин В.В., Губин Р.Ю.* Проектирование водяных и пенных автоматических установок пожаротушения / под общ. ред. Н.П. Копылова. М. : ВНИИПО МЧС РФ, 2002. 413 с.
11. *Собурь С.В.* Установки пожаротушения автоматические : справочник. 3-е изд. с изм. М. : Спецтехника, 2003. 400 с.
12. *Сафронов В.В., Аксенова Е.В.* Выбор и расчет параметров установок пожаротушения и сигнализации. Орел : ОрлГТУ, 2004. 57 с.
13. *Храпский С.Ф., Стариков В.И., Рысев Д.В.* Производственная и пожарная автоматика. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. 152 с.
14. *Воронков О.Ю.* Расчет, монтаж и эксплуатация автоматических установок пожаротушения. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016.
15. *Илюшов Н.Я.* Автоматические установки пожаротушения. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. 134 с.
16. *Alpert R.L.* Ceiling jet flows // *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3rd ed. NFPA, 2002. Pp. 2–31.
17. *Абраков Д.Д., Бородин А.А., Булатова В.В., Корнилов А.А., Шнайдер А.В.* Экспериментальная оценка инерционности спринклерных оросителей // *Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности»*. 2013. № 1 (47). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2013-1/03-01-13.ttb.pdf>
18. *Васильева М.С., Зорина К.В., Ремез А.С.* Исследование возможности применения агрегатно-модульных установок пожаротушения ТРВ // *Безопасность в чрезвычайных ситуациях : сб. науч. тр. Всеросс. науч.-практ. конф. СПб. : СПбПУ, 2018. С. 215–219. URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=37007468&*
19. *Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L.* Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1107. P. 042012. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/4/042012

20. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Fire growth in a high-rack storage // Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards. 21–26 April 2019, Saint Petersburg, Russia. Saint Petersburg, 2019. Pp. 796–807. URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/k19-70.pdf/info> DOI: 10.18720/spbpu/2/k19-70
21. Drysdale D. An introduction to fire dynamics. John Wiley and Sons, Chichester, 1985. 424 p.
22. Snegirev A., Tanklevskiy L. The macrokinetics of indoor fire // High Temperature. 1998. Vol. 36. No. 5. Pp. 737–743.
23. Snegirev A., Tanklevskiy L. Numerical simulation of turbulent convection of gas indoors in the presence of a source of ignition // High Temperature. 1998. Vol. 36. No. 6. Pp. 949–959.
24. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Application of the thermal pyrolysis model to predict flame spread over continuous and discrete fire load // Fire Safety Journal. 2019. Vol. 108. P. 102825. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102825
25. Маркус Е.С., Снегирев А.Ю., Кузнецов Е.А., Танклевский Л.Т., Аракчеев А.В. Численное моделирование распространения пламени по дискретной совокупности горючих материалов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2019. Т. 28. № 4. С. 29–41. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.29-41
26. Маркус Е.С., Кузнецов Е.А., Снегирев А.Ю. Естественно-конвективное турбулентное диффузионное пламя у вертикальной поверхности // Физика горения и взрыва. 2018. № 3 (54). С. 36–46. DOI: 10.15372/FGV20180304
27. Snegirev A., Markus E., Kuznetsov E., Harris J., Wu T. On soot and radiation modeling in buoyant turbulent diffusion flames // Heat and Mass Transfer. 2018. Vol. 54. No 8. P. 2275–2293. DOI: 10.1007/s00231-017-2198-x
28. Снегирев А.Ю., Коковина Е.С., Цой А.С., Талалов В.А., Степанов В.В. Интеграция моделей турбулентного пламени и пиролиза горючего материала: горение термопластиков // Труды XXXI Сибирского теплофизического семинара. 17–19 ноября 2014 г., Новосибирск. С. 226–233.
29. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. 3-е изд., перераб. М.: Наука, 1967. 368 с.
30. СИТИС-СПН-1. Пожарная нагрузка. Справочник. Редакция 3 от 20.06.2014. 2014. 51 с.

REFERENCES

1. Tanklevskiy L.T., Babikov I.A., Tarantsev A.A., Zybina O.A. On a more precise assessment of coordinates of the seat of fire in the premises. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(3):33-43. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.03.33-43 (rus).
2. Tarantsev A.A., Tanklevskiy L.T., Snegirev A.Yu., Tsoy A.S., Kopylov S.N., Meshman L.M. Assessment of the sprinkler installation efficiency. *Fire Safety Journal*. 2015; 1:72-79. (rus).
3. Babikov I.A., Tanklevskiy L.T., Tarantsev A.A. Determination method of sprinklers with electrical activation in case of internal fire. *Risk Management Challenges in the Technosphere*. 2019; 3(51):34-41. (rus).
4. Tanklevskiy L., Tsoy A., Snegirev A. Electrically controlled dynamic sprinkler activation computational assessment of potential efficiency. *Fire Safety Journal*. 2017; 91:614-623. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.04.019
5. Tanklevskiy L., Vasiliev M., Meshman L., Snegirev A., Tsoi A. A novel methodology of electrically controlled sprinkler activation. *Proceedings of the 13th International conference Interflam 2013*. London, 2013; 503-508.
6. Tsoi A., Snegirev A., Tanklevskiy L., Sheinman I. Flame suppression by water sprays: exploring capabilities and failures of FDS. *Proceedings of the Seventh International Seminar Fire and Explosion Hazards*. Research Publ., 2013; 482-491. DOI: 10.3850/978-981-07-5936-0_07-05
7. Xin Yibing, Burchesky K., de Vries J., Magistrale H., Zhou X., D'Aniello S. SMART sprinkler protection for highly challenging fires — Part 1: System design and function evaluation. *Fire Technology*. 2016; 53(5):1847-1884. DOI: 10.1007/s10694-017-0662-2
8. Grudanova O.V., Tarantsev A.A., Koroleva L.A. On the Economic Assessment of the Two Ways of Retrofitting Automatic Fire Extinguishing Units. *Risk management challenges in the technosphere*. 2007; 1:38-42. (rus).
9. Kopylov S., Tanklevskiy L., Vasilev M., Zima V., Snegirev A. Advantages of electronically controlled sprinklers ECS for fire protection of tunnels. *Proceedings from the Fifth International Symposium on Tunnel Safety and Security, New York, USA, March 14-16, 2012. Vol. 1*. SP Technical Research

- Institute of Sweden, 2012; 87-92. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962674/FULL-TEXT01.pdf#page=88>
10. Meshman L.M., Tsarichenko S.G., Bylinkin V.A., Aleshin V.V., Gubin R.Yu. *Design of water and foam automatic fire extinguishers* / N.P. Kopylov (ed.). Moscow, VNIPO MCHS RF, 2002; 413. (rus).
 11. Sobur S.V. *Automatic fire extinguishers : a reference book*. 3rd ed., changes. Moscow, Spetstekhnika Publ., 2003; 400. (rus).
 12. Safronov V.V., Aksenova E.V. *Selection and calculation of fire extinguishing and signalling installations*. Orel, OrlGTU, 2004; 57. (rus).
 13. Khrapskii S.F., Starikov V.I., Rysev D.V. *Production and fire automation*. Omsk, OmGTU Publ., 2013; 152. (rus).
 14. Voronkov O.Iu. *Design, installation and operation of automatic fire extinguishers*. Omsk, OmGTU Publ., 2016. (rus).
 15. Iliushov N.Ia. *Automatic fire extinguishing installations*. Novosibirsk, NGTU Publ., 2016; 134. (rus).
 16. Alpert R.L. Ceiling jet flows. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. 3rd Ed NFPA. 2002; 2-31.
 17. Abrakov D.D., Borodin A.A., Bulatova V.V., Kornilov A.A., Shnaider A.V. Experimental evaluation of sprinklers inertia. *Technology of Technosphere Safety*. 2013; 1(47). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2013-1/03-01-13.ttb.pdf> (rus).
 18. Vasil'eva M.S., Zorina K.V., Remez A.S. Investigation of the possibility of using aggregate-modular water mist fire extinguishing systems. *Safety in emergency situations: collection of scientific papers of the All-Russian scientific and practical conference*. Saint Petersburg, SPbPU, 2018; 215-219. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=37007468&> (rus).
 19. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018; 1107:042012. DOI: 10.1088/1742-6596/1107/4/042012
 20. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Fire growth in a high-rack storage. *Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. 21–26 April 2019, Saint Petersburg, Russia. Saint Petersburg, 2019; 796-807. URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/k19-70.pdf/info> DOI: 10.18720/spbpu/2/k19-70
 21. Drysdale D. *An Introduction to Fire Dynamics*. Chichester, John Wiley and Sons Publ., 1985; 424.
 22. Snegirev A., Tanklevskiy L. The macrokinetics of indoor fire. *High Temperature*. 1998; 36(5):737-743.
 23. Snegirev A., Tanklevskiy L. Numerical simulation of turbulent con-vection of gas indoors in the presence of a source of ignition. *High Temperature*. 1998; 36(6):949-959.
 24. Markus E., Snegirev A., Kuznetsov E., Tanklevskiy L. Application of the thermal pyrolysis model to predict flame spread over continuous and discrete fire load. *Fire Safety Journal*. 2019. 108:102825. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102825
 25. Markus E.S., Snegirev A.Yu., Kuznetsov E.A., Tanklevskiy L.T., Arakcheev A.V. Simulation of flame spread over discrete fire load. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 28(4):29-41. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.29-41 (rus).
 26. Markus E.S., Kuznetsov E.A., Snegirev A.Yu. Natural buoyant turbulent diffusion flame near a vertical surface. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. 2018; 54(3):284-293. DOI: 10.15372/FGV20180304 (rus).
 27. Snegirev A., Markus E., Kuznetsov E., Harris J., Wu T. On soot and radiation modeling in buoyant turbulent diffusion flames. *Heat and Mass Transfer*. 2018. 54(8):2275-2293. DOI: 10.1007/s00231-017-2198-x (rus).
 28. Snegirev A.Yu., Kokovina E.S., Tsoi A.S., Talalov V.A., Stepanov V.V. Integration of models of turbulent flame and pyrolysis of combustible material: combustion of thermoplastics. *Proceedings of the XXXI Siberian Thermophysical Seminar. November 17-19, 2014, Novosibirsk*. 226-233. (rus).
 29. Demidovich B.P., Maron I.A., Shuvalova E.Z. *Numerical methods of analysis*. 3rd ed., rev. Moscow, Nauka Publ., 1967; 368. (rus).
 30. CITIS-SPN-1. *Fire load. Directory*. 3rd edition dated June 20, 2014. 2014; 51. (rus).

Поступила 05.11.2020, после доработки 02.12.2020;

принята к публикации 21.12.2020

Received November 5, 2020; Received in revised form December 2, 2020;

Accepted December 21, 2020

Информация об авторах

ТАНКЛЕВСКИЙ Леонид Тимофеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Высшей школы техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; главный научный сотрудник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 181476; Scopus Author ID: 57192367552; ResearcherID: S-1901-2017; ORCID: 0000-0002-2769-0086; e-mail: tanklevskiy@gefest-spb.ru

ТАРАНЦЕВ Александр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук; профессор Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 664653; Scopus Author ID: 57195636448; ResearcherID: K-2087-2018; ORCID: 0000-0003-1561-2483; e-mail: t_54@mail.ru

ЗЫБИНА Ольга Александровна, д-р техн. наук, доцент Высшей школы техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 505657; Scopus Author ID: 6504571187; ResearcherID: Q-4451-2017; ORCID: 0000-0001-9401-7206; e-mail: zybina_oa@spbstu.ru

БАБИКОВ Игорь Александрович, аспирант Высшей школы техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 949758; Scopus Author ID: 57205082476; ResearcherID: S-5502-2017; ORCID: 0000-0003-4100-1686; e-mail: babikovia@gmail.com

Information about the authors

Leonid T. TANKLEVSKIY, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Department of Higher School of Technosphere Safety, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University; Chief researcher, 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, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 181476; Scopus Author ID: 57192367552; ResearcherID: S-1901-2017; ORCID: 0000-0002-2769-0086; e-mail: tanklevskiy@gefest-spb.ru

Alexander A. TARANTSEV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Laboratory, Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Science; Professor, 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, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 664653; Scopus Author ID: 57195636448; ResearcherID: K-2087-2018; ORCID: 0000-0003-1561-2483; e-mail: t_54@mail.ru

Olga A. ZYBINA, Dr. Sci. (Eng.), Assistant Professor of Department of Higher school of Technosphere Safety, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 505657; Scopus Author ID: 6504571187; ResearcherID: Q-4451-2017; ORCID: 0000-0001-9401-7206; e-mail: zybina_oa@spbstu.ru

Igor A. BABIKOV, Graduate Student of Department of Higher School of Technosphere Safety, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 949758; Scopus Author ID: 57205082476; ResearcherID: S-5502-2017; ORCID: 0000-0003-4100-1686; e-mail: babikovia@gmail.com

Оценка механизмов тушения горючих жидкостей тонкораспыленной водой

© 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. При разработке новых способов тушения пожаров в помещениях зданий и сооружений и использовании для тушения современных огнетушащих средств возникает ряд проблем. Для решения их требуются специальные исследования, например выявление общих принципов обеспечения эффективности тушения пожаров и определение на их основе оптимального режима применения огнетушащих веществ. Цель работы — теоретическая оценка механизмов тушения горючих жидкостей тонкораспыленной водой.

Поставленные задачи: предложить уравнения законов сохранения массы и энергии для пламенной зоны с учетом поступления в нее струи тонкораспыленной воды; выполнить оценку расходов воды, необходимых для реализации различных механизмов тушения; провести сопоставление результатов оценок с экспериментальными данными, полученными при тушении модельных очагов горения горючих жидкостей.

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

Результаты исследования. Рассмотрены два механизма тушения, способствующих прекращению горения в пламенной зоне: 1) достижение такой массовой концентрации водяного пара, при которой достигается нижний концентрационный предел горения горючей газовой смеси (флегматизация); 2) охлаждение горючей газовой смеси в пламенной зоне путем испарения воды до температуры вспышки горючих паров.

Выводы. Предложены уравнения законов сохранения массы и энергии для пламенной зоны, образующейся при горении горючих жидкостей с учетом поступления в нее струи тонкораспыленной воды. Выполнена оценка расходов воды, необходимых для реализации различных механизмов тушения, с использованием предложенных уравнений. Проведено сопоставление результатов теоретических оценок с экспериментальными данными по тушению модельных очагов горения горючих жидкостей тонкораспыленной водой.

Ключевые слова: пожар; флегматизация; вспышка; дисперсность воды; интенсивность подачи; пламенная зона; закон сохранения массы; закон сохранения энергии

Для цитирования: Корольченко Д.А., Пузач С.В. Оценка механизмов тушения горючих жидкостей тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 1. С. 54–63. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.54-63

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

The assessment of extinction mechanisms involving water mist applied to combustible liquids

© Dmitriy A. Korolchenko¹ ✉, Sergey V. Puzach²

- 1 Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (Yaroslavl'skoe 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. A number of problems accompany the development of new extinction methods applicable on the premises of buildings and structures and the use of advanced fire extinguishing agents. Subject-specific studies are needed to solve these problems. They include the identification of general principles of fire extinguishing efficiency and further development of the optimal mode of application of firefighting agents. The purpose of this work is the theoretical assessment of fire extinction mechanisms involving the water mist applied to combustible liquids. The objectives to be accomplished include the equations based on the mass/energy conservation laws and derived for flame zones with account taken of the water mist applied; the assessment of the water flow rate for different combustion mechanisms; comparison of assessment results with experimental data obtained in the process of extinguishing model fire seats that have burning combustible fluids.

Methods of analysis. The calculations involve the equations based on the mass/energy conservation laws and derived for flame zones above the surface of combustibles.

Research results. The author analyzes two fire extinguishing mechanisms that contribute to the suppression of burning in the flame zone: 1) the attainment of the value of mass concentration of water vapour that reaches the lower concentration limit of combustion of the combustible mixed gas (oxygen reduction); 2) cooling combustible mixed gas in the flame zone by evaporating water until the flash point temperature of combustible vapour is reached.

Conclusions: Equations based on mass/energy conservation laws were derived for flame zones, formed in the course of combustion of flammable liquids, with account taken of a jet of water mist. Water flow rates needed for the implementation of various extinguishing mechanisms were analyzed using the proposed equations. Theoretical results were compared with the experimental data obtained in the process of using water mist to extinguish model fire seats that contain combustible fluids.

Keywords: fire; oxygen reduction; flashover; water dispersibility; water application rate; flame zone; mass conservation law; energy conservation law

For citation: Korolchenko D.A., Puzach S.V. The assessment of extinction mechanisms involving water mist applied to combustible liquids. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2021; 30(1):54-63. (rus). DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.54-63

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

Введение

Несмотря на разработку новых способов тушения пожаров в помещениях зданий и сооружений различного назначения, а также использование для тушения современных огнетушащих средств, существует ряд проблем, для решения которых требуются специальные исследования. В частности, актуальным остается вопрос выявления общих принципов обеспечения эффективности тушения пожаров и определения на их основе оптимального режима применения огнетушащих веществ (ОТВ).

Основным огнетушащим веществом на сегодняшний день является вода. Ее уникальные свойства, такие как негорючесть, высокая теплота испарения, текучесть и доступность, делают данное средство незаменимым при тушении пожаров [1–6].

В зависимости от формы применения вода способна тушить пожары любых типов, но эффективность тушения существенно зависит от ее дисперсности, интенсивности подачи и ряда других факторов [7–9].

В большом количестве работ [10–14] приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований процессов тушения пожаров тонкораспыленной водой. Однако чрезвычайная сложность происходящих при тушении теплофизических процессов не позволяет получить экспериментальные данные, необходимые для разработки надежных методов расчета. Поэтому изучение механизмов тушения тонкораспыленной водой является актуальной задачей.

Цель настоящей работы — теоретическая оценка механизмов тушения горючих жидкостей (ГЖ) тонкораспыленной водой. Для ее достижения необходимо:

- предложить уравнения законов сохранения массы и энергии для пламенной зоны с учетом поступления в нее струи тонкораспыленной воды;

- выполнить оценку расходов воды, необходимых для реализации различных механизмов тушения;
- провести сопоставление результатов оценок с экспериментальными данными, полученными при тушении модельных очагов горения горючих жидкостей.

Уравнения законов сохранения массы и энергии в пламенной зоне

Схемы потоков массы в пламенной зоне, образующейся над поверхностью горючего материала, при отсутствии тушения и в случае подачи мелкодисперсной струи воды представлены на рис. 1.

Согласно рис. 1, высота пламенной зоны при ее тушении z_{fw} превышает ее высоту в случае отсутствия тушения z_f , что подтверждается экспериментальными данными (рис. 2).

Уравнение закона сохранения массы для пламенной зоны в соответствии с рис. 1 имеет вид:

$$\frac{d(\rho_m V_f)}{d\tau} = G_a + G_{aw} + \Psi + G_{fw} + \beta G_{sw} - G_{kw}, \quad (1)$$

где ρ_m — среднеобъемная плотность газовой смеси внутри пламенной зоны, кг/м³;

V_f — объем пламенной зоны, м³;

τ — время, с;

G_a — массовый расход воздуха, поступающего в конвективную колонку при отсутствии тушения до высоты пламенной зоны, кг/с;

G_{aw} — массовый расход воздуха, поступающего в пламенную зону вследствие эжектирующего воздействия струи воды, кг/с;

Ψ — массовый расход продуктов газификации горючего вещества, кг/с;

G_{fw} — массовый расход воды, поступающей в пламенную зону, кг/с;

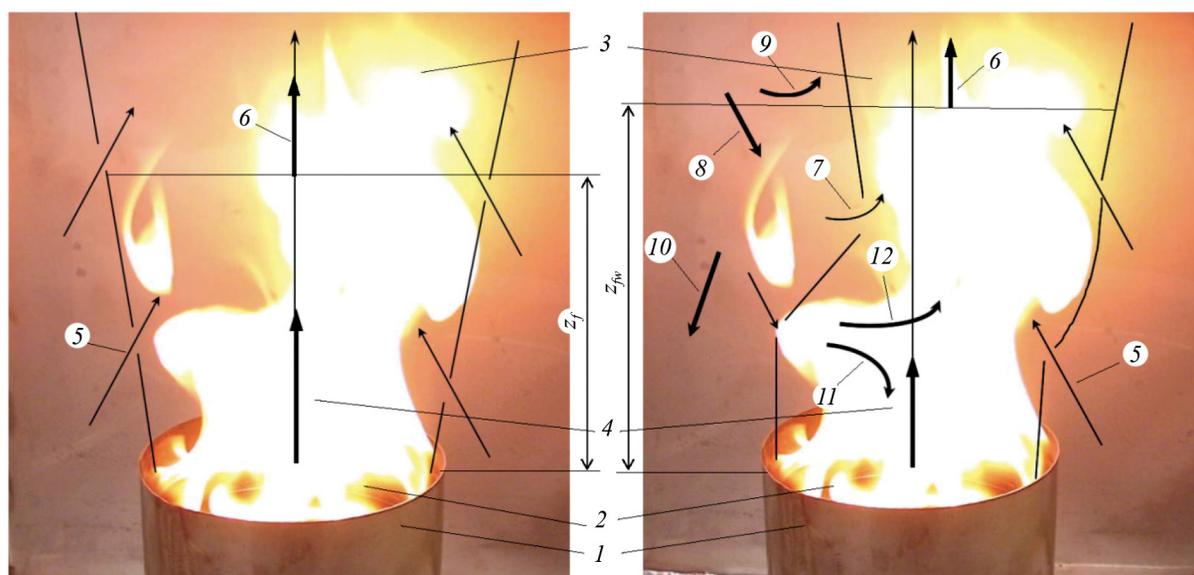


Рис. 1. Схемы потоков массы в пламенной зоне, образующейся над поверхностью горючего материала, при отсутствии тушения (а) и в случае тушения (б): 1 — металлическая горелка; 2 — горючее вещество; 3 — конвективная колонка; 4 — продукты газификации горючего вещества; 5 — воздух, поступающий в конвективную колонку; 6 — газовая смесь, выходящая из пламенной зоны; 7 — воздух, поступающий в пламенную зону из-за эжектирующего воздействия струи воды; 8 — мелкодисперсная вода, подаваемая на тушение; 9 — вода, поступающая в конвективную колонку выше пламенной зоны; 10 — вода, не поступающая в конвективную колонку; 11 — вода, попадающая на поверхность горючего вещества и образующая на ней пленку пара; 12 — вода, поступающая в конвективную колонку в пламенную зону; z — координата по высоте, отсчитываемая от поверхности горючего вещества, м; z_f, z_{fw} — высота пламенной зоны соответственно без тушения и в случае тушения, м

Fig. 1. Patterns of mass flows in the flame zone above the surface of the combustible material, in the absence of extinguishing (a) and in the case of extinguishing (b): 1 — metal burner; 2 — combustible agent; 3 — convective column; 4 — combustible agent gasification products; 5 — air supplied into the convective column; 6 — mixed gas leaving the flame zone; 7 — air supplied to the flame zone due to the ejection effect of the water jet; 8 — water mist supplied for extinguishing purposes; 9 — water entering the convective column above the flame zone; 10 — water not entering the convective column; 11 — water falling on the surface of the combustible agent and forming a vapour film on it; 12 — water entering the convective column in the flame zone; z — the height coordinate, measured as of the surface of the combustible agent, m; z_f, z_{fw} — the height of the flame zone, if extinguishing is not or is applied, m

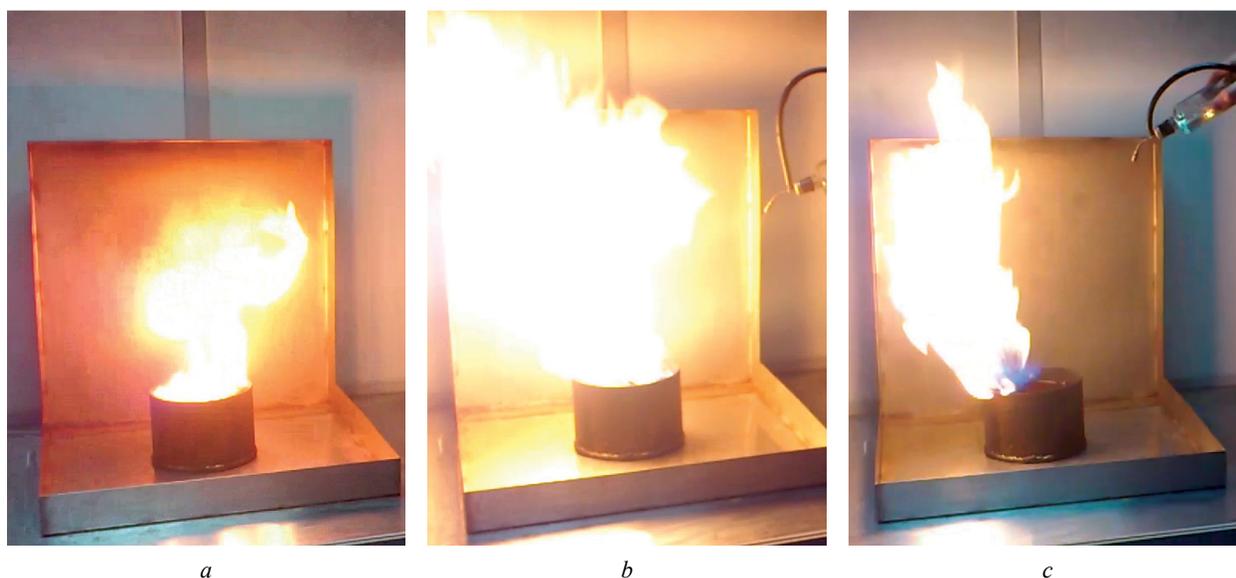


Рис. 2. Процесс тушения н-гептана водой с высокой степенью распыла (средний размер капель — около 20 мкм): а — свободное горение гептана; б — резкое увеличение факела пламени при подаче распыленной воды; с — постепенное вытеснение пламени слоем водяного пара

Fig. 2. The process of n-heptane extinction using highly atomized water (the average drop size is about 20 microns): a — freely burning heptane; b — a sharp increase of the torch-like flame boosted by atomized water; c — gradual substitution of the flame by the layer of vapour

β — доля массового расхода воды G_{sw} , поступающей в пламенную зону под воздействием продуктов газификации горючего материала на его поверхности;

G_{sw} — массовый расход воды, попадающей на поверхность горючего вещества и образующей на ней пленку пара, кг/с;

G_{kw} — суммарный расход газовой смеси, выходящей из пламенной зоны, кг/с.

Суммарный расход воды G_w (кг/с), подаваемой на тушение, определяется по выражению

$$G_w = G_{fw} + G_{sw} + G'_w + G''_w, \quad (2)$$

где G'_w, G''_w — потери расхода воды вне пламенной зоны, кг/с (см. рис. 1, позиции 9 и 10).

Уравнение закона сохранения энергии для пламенной зоны, представленной на рис. 1, можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \frac{d(\rho_m V_f c_{pf} T_m)}{d\tau} = & Q_f (1 - \varphi) + \\ & + c_{pa} T_0 (G_a + G_{aw}) + i_\psi \Psi - c_{pf} G_{kw} T_f + \\ & + (c_{pwl} T_{w0} - \chi Q_w) (G_{fw} + G_{sw}), \end{aligned} \quad (3)$$

где c_{pa}, c_{pf}, c_{pwl} — удельная массовая теплоемкость, соответственно, воздуха, газовой смеси, выходящей из пламенной зоны, и воды в жидкой фазе, Дж/(кг·К);

T_m — среднеобъемная температура газовой смеси внутри пламенной зоны, К;

Q_f — мощность тепловыделения при горении, Вт, $Q_f = \eta \psi S_0 Q_r$;

η — полнота сгорания;

ψ — удельная массовая скорость газификации горючего вещества, кг/(с·м²);

S_0 — начальная площадь поверхности горения горючего вещества, м²;

Q_r — низшая рабочая теплота сгорания горючего вещества, Дж/кг;

φ — коэффициент теплопотерь из пламенной зоны;

T_0 — температура окружающего воздуха, К;

i_ψ — удельная энтальпия продуктов испарения или газификации горючего вещества, Дж/кг;

T_f — средняя температура газовой смеси, выходящей из пламенной зоны, К;

T_{w0} — начальная температура воды, К;

χ — массовая доля расходов воды ($G_{fw} + G_{sw}$), которая поступает в пламенную зону, попадет на поверхность горючего вещества и, превращаясь в водяной пар, образует на поверхности паровую пленку;

Q_w — удельная теплота парообразования воды, Дж/кг.

Теплофизические механизмы тушения тонкораспыленной водой

Рассмотрим два механизма тушения, способствующих прекращению горения в пламенной зоне:

1) достижение такого значения массовой концентрации водяного пара, при котором достигается нижний концентрационный предел горения горючей газовой смеси (флегматизация);

2) охлаждение горючей газовой смеси в пламенной зоне путем испарения воды до температуры вспышки горючих паров.

Остальные механизмы охлаждения (охлаждение поверхности горючего вещества путем испарения воды на поверхности до температуры вспышки горючих паров; охлаждение поверхности горючего вещества за счет уменьшения плотности лучистого теплового потока от пламенной зоны, обусловленного охлаждением ее водой до температуры вспышки горючих паров; прекращение процессов испарения или пиролиза горючего вещества за счет образования пленки водяного пара на его поверхности) будут рассмотрены в последующих работах.

В первом приближении рассмотрим «квазистационарные» условия тепломассообмена, при которых параметры внутри пламенной зоны постоянны:

$$\frac{d(\rho_m V_f c_{pf} T_m)}{d\tau} = 0;$$

$$\frac{d(\rho_m V_f)}{d\tau} = 0.$$

Действительно, в уравнении (3) $\frac{d(\rho_m V_f c_{pf} T_m)}{d\tau} = 0;$

так как $c_{pf} \approx \text{const}$, объем пламенной зоны V_f по времени изменяется несущественно («квазистационарные» условия) и в соответствии с уравнением состояния для смеси идеальных газов $\rho_m T_m = p_m / R_m \approx \text{const}$, поскольку давление в пламенной зоне p_m и газовая постоянная смеси газов R_m практически не изменяются [15].

Для определения расхода газовой смеси в конвективной колонке, образующейся над поверхностью горючего вещества, в случае отсутствия тушения используем формулу [16]:

$$G_k = 0,032 \left(\frac{Q_f (1 - \varphi)}{1000} \right)^{3/5} z_f, \quad (4)$$

где G_k — суммарный расход газовой смеси, выходящей из пламенной зоны при отсутствии тушения водой, кг/с;

z_f — высота пламенной зоны, м;

$$z_f = 0,166 \left(\frac{Q_f (1 - \varphi)}{1000} \right)^{2/5}.$$

Оценка времени испарения капель воды в пламенной зоне

Для оценки массовой доли капель воды, превратившихся в пар, необходимо оценить время полного испарения одной капли.

В работах [17–21] при исследовании образования сферического ламинарного пограничного слоя на поверхности движущейся в воздухе капли воды получена формула расчета продолжительности ее полного испарения τ_{Σ} (с):

$$\tau_{\Sigma} = \frac{q_s \rho_w r_0^2}{2\lambda_a (T_f - T_s)}, \quad (5)$$

где q_s — удельная теплота парообразования воды, Дж/кг;

ρ_w — плотность воды, кг/м³;

r_0 — начальный радиус капли воды, м;

λ_a — удельный коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К);

T_f — температура пламени, К;

T_s — температура кипения воды, К.

Характерное время нахождения водяной капли в пламенной зоне τ_f (с) можно оценить по выражению:

$$\tau_f \approx \frac{z_f \rho_k S_k}{G_k}, \quad (6)$$

где ρ_k — средняя плотность газовой смеси, выходящей из пламенной зоны, кг/м³;

S_k — площадь поперечного сечения конвективной колонки на высоте пламенной зоны в случае отсутствия тушения, м².

Характерное время нахождения водяной капли в пламенной зоне оценивалось с помощью уравнения (6) с использованием соотношения (4) для условий проведения экспериментов [11] при тушении тонкораспыленной водой бензина, дизельного топлива и н-гептана в металлической горелке диаметром $D = 0,5$ м, оно составило $\tau_f = 0,67$ с.

На рис. 3 представлена зависимость времени полного испарения капли воды от ее начального радиуса (формула (5)) при $T_f = 700$ °С и $T_s = 100$ °С. Из рис. 3 видно, что в пламенной зоне при условии $\tau_{\Sigma} \leq \tau_f$ полностью испаряются капли воды радиусом менее 90 мкм.

$$X_w = \frac{Q_f(1-\phi) + c_{pa}T_0(G_a + G_{aw}) + i_{\psi}\Psi - d(\rho_m V_f T_m) / d\tau + (c_{pwl}T_{w0} - \chi Q_w)(G_{fw} + G_{sw}) - c_{pa}}{G_{kw}T_f - c_{pwg} - c_{pa}}. \quad (8)$$

Выполним расчет среднеобъемной массовой концентрации паров воды в пламенной зоне с использованием формулы (8) для условий экспериментов, описанных в [22].

Принимаем наиболее благоприятный для тушения случай, когда вся масса тонкораспыленной

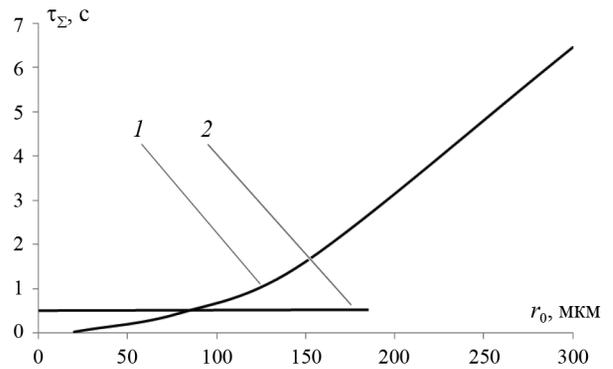


Рис. 3. Зависимость времени полного испарения капли воды от ее начального радиуса: 1 — в соответствии с уравнением (5); 2 — время нахождения капли в пламенной зоне

Fig. 3. Dependence of the time of complete evaporation of water on its initial radius: 1 — pursuant to equation (1); 2 — the time period when the drop is in the flame zone

Механизм 1.

Достижение значения массовой концентрации водяного пара, при котором достигается нижний концентрационный предел горения горючей газовой смеси (флегматизация)

Выражение для расчета среднеобъемной массовой концентрации паров воды в пламенной зоне может быть получено из формулы (3), если в нее подставить соотношение для удельной массовой теплоемкости газовой смеси в виде:

$$c_{pf} = X_w c_{pwg} + (1 - X_w) c_{pa}, \quad (7)$$

где X_w — среднеобъемная массовая концентрация паров воды в пламенной зоне;

c_{pwg} — удельная массовая теплоемкость воды в газовой фазе, Дж/(кг·К).

В выражении (7) принято, что теплоемкость газовой смеси в конвективной колонке в случае отсутствия тушения водой близка к значению для чистого воздуха [15].

Тогда среднеобъемная массовая концентрация паров воды в пламенной зоне находится из следующей формулы:

воды, подаваемой на тушение, поступает в пламенную зону и превращается в пар. Тушение произойдет, когда среднеобъемная массовая концентрация паров воды достигнет значения $X_w = 0,21$. Диаметр металлической горелки с налитой горючей жидкостью $D = 0,5$ м.

Тогда расход воды на тушение, необходимый для флегматизации смеси, в соответствии с выражением (8) для различных ГЖ составит [12]:

- бензин ($Q_f = 43,2$ МДж/кг; $\psi = 0,0585$ кг/(с·м²): $G_w = 1,55$ кг/с; $J_w = 7,9$ кг/(с·м²);
- дизельное топливо ($Q_f = 45,4$ МДж/кг; $\psi = 0,0425$ кг/(с·м²): $G_w = 1,18$ кг/с; $J_w = 6$ кг/(с·м²);
- н-гептан ($Q_f = 45,1$ МДж/кг; $\psi = 0,012$ кг/(с·м²): $G_w = 0,33$ кг/с; $J_w = 1,7$ кг/(с·м²);

где J_w — интенсивность подачи ОТВ, кг/(с·м²); $J_w = G_w/(\pi D^2/4)$.

Таким образом, минимальная расчетная интенсивность подачи воды на тушение этих ГЖ изменяется в диапазоне $J_w = 1,7...7,9$ кг/(с·м²).

Результаты экспериментов [22] показали, что критическая интенсивность подачи воды на тушение вышеуказанных ГЖ лежит в диапазоне $J_{cr} \approx 0,04...0,12$ кг/(с·м²) при расходе воды $G_w^{exp} \approx 0,0079...0,0236$ кг/с.

Таким образом, расчетный расход воды на тушение по механизму 1 более чем в 14 раз превышает экспериментальный расход, поэтому на практике этот механизм оказывается неэффективным при тушении в пламенной зоне. Однако при подаче воды вне зоны горения в замкнутом помещении данный механизм тушения является основным.

Механизм 2.

Охлаждение горючей газовой смеси в пламенной зоне за счет испарения воды до температуры вспышки горючих паров

Принимаем наиболее благоприятный для тушения случай, при котором вся масса тонкораспыленной воды поступает в пламенную зону и превращается в пар. Тушение произойдет, когда температура в пламенной зоне станет ниже температуры вспышки газовой смеси.

Расход воды, требуемый на тушение с использованием механизма 2, можно получить из решения уравнения (3) при

$$\frac{d(\rho_m V_f c_{pf} T_m)}{d\tau} = 0: \quad Q_f(1-\varphi) + c_{pa} G_{kw}(T_0 - T_f) - Q_w G_w = 0. \quad (9)$$

Принимаем, что $T_f = T_b$, где T_b — температура вспышки, °С.

Тогда из уравнения (9) находим расход воды, требуемый на тушение при использовании механизма 2:

$$G_w = \frac{Q_f(1-\varphi) + c_{pa} G_{kw}(T_0 - T_b)}{Q_w}. \quad (10)$$

Принимаем температуру вспышки для бензина и дизельного топлива $T_b = -40$ °С, для н-гептана — $T_b = -4$ °С.

Расход тонкораспыленной воды и интенсивность ее подачи, необходимые для снижения температуры в пламенной зоне до температуры вспышки газовой смеси, составят:

- бензин и дизельное топливо: $G_w = 0,042$ кг/с; $J_w = 0,053$ кг/(с·м²);
- н-гептан: $G_w = 0,017$ кг/с; $J_w = 0,021$ кг/(с·м²).

Из результатов экспериментов [22] следует, что критическая интенсивность подачи воды на тушение вышеуказанных ГЖ лежит в диапазоне $J_{cr} \approx 0,04...0,12$ кг/(с·м²) при расходе воды $G_w^{exp} \approx 0,0079...0,0236$ кг/с.

Отсюда можно сделать вывод, что механизм 2 в отдельных случаях может привести к тушению пламени. Однако при выполнении условия

$$\frac{d(\rho_m V_f c_{pf} T_m)}{d\tau} = 0$$

он не объясняет наличия двойственного характера процесса тушения [20], при котором повышение интенсивности подачи воды до значения, превышающего критическое, приводит к увеличению времени тушения.

Фотосъемка процесса тушения бензина, дизельного топлива и н-гептана (см. рис. 2) показывает, что в начальный момент подачи тонкораспыленной воды объем пламенной зоны резко увеличивается [22] — более чем в 2 раза.

Выполним оценку влияния увеличения объема пламенной зоны на среднюю температуру в ней.

Решая уравнение (3), с учетом того, что для идеальных газов

$$\frac{d(\rho_m V_f c_{pf} T_m)}{d\tau} = V_f c_{pf} \frac{d(\rho_m T_m)}{d\tau} + \rho_m c_{pf} T_m \frac{d(V_f)}{d\tau} \approx \rho_0 c_{pa} T_0 \frac{dV_f}{d\tau},$$

где ρ_0 — плотность окружающего воздуха, кг/м³, вместо уравнения (9) получаем следующее соотношение:

$$\rho_0 c_{pa} T_0 \frac{dV_f}{d\tau} = Q_f(1-\varphi) + c_{pa} G_{kw}(T_0 - T_f) - Q_w G_w. \quad (11)$$

Тогда из уравнения (11) выведем выражение для средней температуры пламенной зоны T_f без подачи воды на тушение:

$$T_f = T_0 + \frac{Q_f(1-\varphi) - \rho_0 c_{pa} T_0 \frac{dV_f}{d\tau}}{c_{pa} G_{kw}}. \quad (12)$$

Снижение средней температуры пламенной зоны за счет увеличения объема выражается формулой

$$\bar{T}_f = \frac{T_0 + Q_f(1-\varphi) / (c_{pa} G_{kw})}{T_0 + \frac{Q_f(1-\varphi) - \rho_0 c_{pa} T_0 (dV_f/d\tau)}{c_{pa} G_{kw}}}, \quad (13)$$

где \bar{T}_f — безразмерная температура, $\bar{T}_f = \frac{T_f}{T_{fV}}$;
 T_f — температура при $V = \text{const}$;
 T_{fV} — температура при $V \approx \text{const}$.

На основании экспериментальных данных [23] (см. рис. 2) принимаем, что объем пламенной зоны увеличивается в 2 раза за 0,885 и 1 с. Из уравнения (13) получим соответственно: $\bar{T}_f = 3,6$ и $\bar{T}_f = 2,8$.

Таким образом, если средняя температура пламенной зоны н-гептана $T_f = 973$ К, то увеличение объема этой зоны приведет к снижению средней температуры в ней, соответственно, до $T_{fV} = 269,0$ К (или -4 °С) (температура вспышки) и $T_{fV} = 347,5$ К (или $74,5$ °С).

Существенное снижение средней температуры пламенной зоны влечет за собой значительное уменьшение плотности теплового потока, падающего на поверхность горючего материала и, как

следствие, уменьшение скорости испарения жидкости. Поэтому объем пламенной зоны начнет сокращаться (двойственный характер тушения [23]), в том числе за счет постепенного вытеснения пламени слоем водяного пара.

Следовательно, механизм 2 может объяснить наблюдаемый в экспериментах двойственный характер тушения.

Заключение

В результате теоретического исследования предложены уравнения законов сохранения массы и энергии для пламенной зоны с учетом поступления в нее струи тонкораспыленной воды. Проведены расчеты расходов воды, необходимых для реализации различных механизмов тушения. Полученные расчетные значения сопоставлены с результатами экспериментов по тушению модельных очагов горения горючих жидкостей. Расчетная оценка механизмов тушения горючих жидкостей тонкораспыленной водой позволила теоретически обосновать двойственный характер данного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алешков М.В., Гусев И.А.* Обеспечение технологии пожаротушения в замкнутых объемах помещений объектов энергетики // Системы безопасности : мат. 26-й Междунар. науч.-практ. конф. М. : Академия ГПС МЧС России, 2017. С. 176–179. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32292947>
2. *Копылов Н.П., Хасанов И.Р., Кузнецов А.Е., Федоткин Д.В., Москвлин Е.А., Стрижак П.А., Карпов В.Н.* Параметры сброса воды авиационными средствами при тушении лесных пожаров // Пожарная безопасность. 2015. № 2. С. 49–55.
3. *Гергель В.И., Мешалкин Е.А.* Пожаротушение тонкораспыленной водой высокого давления // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. Т. 26. № 3. С. 45–49. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.45-49
4. *Кожин С.* Тушение тонкораспыленной водой электрооборудования, находящегося под напряжением // Безопасность. Достоверность. Информация. 2008. № 79. С. 46–47.
5. *Гергель В.И., Мешалкин Е.А.* Пожаротушение тонкораспыленной водой // Материалы XXIX Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России. Часть 2. Горение и проблемы тушения пожаров. М. : ВНИИПО, 2017. С. 369–372. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29942838>
6. *Мешман Л.М.* Частные вопросы при проектировании водяных АУП // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2019. Т. 28. № 1. С. 80–88. URL: <https://www.fire-smi.ru/jour/article/view/741>
7. *Войтков И.С., Волков Р.С., Высокоморная О.В., Чернова Г.А., Фадеев А.В.* Экспериментальное исследование температурных следов капель воды, водных массивов и аэрозольных потоков, движущихся через высокотемпературные продукты сгорания // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 8. С. 17–26. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.17-26
8. *Volkov R.S., Kuznetsov G.V., Legros J.C., Strizhak P.A.* Experimental investigation of consecutive water droplets falling down through high-temperature gas zone // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2016. Vol. 95. Pp. 184–197. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.12.001
9. *Zhang Qinglin, Wang Lu, Bi Yixing, Xu Dajun, Zhi Huiqiang, Qiu Peifang.* Experimental investigation of foam spread and extinguishment of the large-scale methanol pool fire // Journal of Hazardous Materials. 2015. Vol. 287. Pp. 87–92. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.01.017

10. Блинов В.И., Худяков Г.Н. Диффузионное горение жидкостей. М. : АН СССР, 1961. 208 с.
11. 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://www.elibrary.ru/item.asp?id=20655296>
12. Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф., Дегаев Е.Н. Горение гептана в модельном резервуаре // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2015. Т. 24. № 2. С. 67–70. URL: <https://www.fire-smi.ru/jour/article/view/363>
13. 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-algoritm-rascheta-terploobmena-i-ispareniya-kapel-dispergirovannoy-zhidkosti>
14. Корольченко Д.А., Громовой В.Ю., Ворогушин О.О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Вестник МГСУ. 2011. № 1–2. С. 331–335.
15. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. 336 с.
16. 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.
17. Емельянов А.Л., Платунов Е.С. Кинетика испарения капель в системах охлаждения теплонагруженных элементов приборов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2011. Т. 54. № 1. С. 84–88. URL: http://pribor.ifmo.ru/ru/article/5552/kinetika_ispareniya_kapelv_sistemah_ohlazhdeniyateplonagruzhennyh_elementov_priborov.htm
18. Yoshida A., Kashiwa K., Hashizume S., Naito H. Inhibition of counterflow methane/air diffusion flame by water mist with varying mist diameter // Fire Safety Journal. 2015. Vol. 71. Pp. 217–225. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.11.030
19. Laufer J. The structure of turbulence in fully developed pipe flow // NACA Report 1174. 1954. Pp. 417–434. URL: <http://naca.central.cranfield.ac.uk/reports/1954/naca-report-1174.pdf>
20. Guildenbecher D.R., Sojka P.E. Experimental investigation of aerodynamic fragmentation of liquid drops modified by electrostatic surface charge // Atomization and Sprays. 2011. Vol. 21. No. 2. Pp. 139–147. DOI: 10.1615/AtomizSpr.2011003299
21. Kennedy M.J., Conroy M.W., Dougherty J.A., Otto N., Williams B.A., Ananth R., Fleming J.W. Bubble coarsening dynamics in fluorinated and non-fluorinated firefighting foams // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2015. Vol. 470. Pp. 268–279. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2015.01.062
22. Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2014. Т. 23. № 11. С. 84–88. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/universalnost-mehanizmov-tusheniya-plameni-razlichnymi-ognetushaschimi-veschestvami>
23. Корольченко Д.А., Шароварников А.Ф. Анализ двойственного механизма тушения пламени // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2014. Т. 23, № 12. С. 59–68. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-dvoystvennogo-mehanizma-tusheniya-plameni>

REFERENCES

1. Aleshkov M.V., Gusev I.A. Ensuring technology of fire extinguishing in the closed power engineering facilities. *Security Systems : Materials of the 26th International Scientific and Practical Conference*. Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia, 2017; 176-179. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32292947> (rus).
2. Kopylov N.P., Khasanov I.R., Kuznetsov A.E., Fedotkin D.V., Moskvilin E.A., Strizhak P.A., Karpov V.N. Parameters of water dumping by airplanes during forest fire suppression. *Fire Safety*. 2015; 2:49-55. (rus).
3. Gergel V.I., Meshalkin E.A. Fire extinguishing by finely-dispersed water of high pressure. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(3):45-49. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.45-49 (rus).
4. Kozhinov S. Extinguishing electrical equipment under voltage with water mist. *Safety. Credibility. Information*. 2008; 79:46-47. (rus).

5. Gergel V.I., Meshalkin E.A. Fire extinguishing with water mist. *Materials of the XXIX International Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the Federal State-Financed Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. Part 2. Combustion and problems of extinguishing fires*. Moscow, VNIPO Publ., 2017; 369-372. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29942838> (rus).
6. Meshman L.M. Special issues on design water AFEI. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 28(1):80-88. URL: <https://www.fire-smi.ru/jour/article/view/741> (rus.)
7. Voytkov I.S., Volkov R.S., Vysokomornaya O.V., Chernova G.A., Fadeev A.V. Experimental study of temperature traces of water droplets, water flow masses and aerosol flows moving through high-temperature combustion products. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(8):17-26. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.17-26 (rus).
8. Volkov R.S., Kuznetsov G.V., Legros J.C., Strizhak P.A. Experimental investigation of consecutive water droplets falling down through high-temperature gas zone. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2016; 95:184-197. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.12.001
9. Zhang Qinglin, Wang Lu, Bi Yixing, Xu Dajun, Zhi Huiqiang, Qiu Peifang. Experimental investigation of foam spread and extinguishment of the large-scale methanol pool fire. *Journal of Hazardous Materials*. 2015; 287:87-92. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.01.017
10. Blinov V.I., Khudyakov G.N. *Diffusion burning of liquids*. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961; 208. (rus).
11. 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://www.elibrary.ru/item.asp?id=20655296> (rus).
12. Korolchenko 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.fire-smi.ru/jour/article/view/363> (rus).
13. 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> (rus).
14. Korolchenko D.A., Gromovoy V.U., Vorogushin O.O. Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems. *Vestnik MGSU*. 2011; 1-2:331-335. (rus).
15. Puzach S.V. *Methods for calculating heat and mass transfer during a fire at the premises and their application in solving practical fire and explosion safety problems*. Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2005; 336. (rus).
16. *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.
17. Emeljanov A.L., Platunov E.S. Vaporization kinetics of drops in cooling system of instrument component under high density of heat flow. *Journal of Instrument Engineering*. 2011; 54(1):84-88. URL: http://pribor.ifmo.ru/ru/article/5552/kinetika_isporeniya_kapelv_sistemah_ohlazhdeniyateplo-nagruzhennyh_elementov_priborov.htm (rus).
18. Yoshida A., Kashiwa K., Hashizume S., Naito H. Inhibition of counterflow methane/air diffusion flame by water mist with varying mist diameter. *Fire Safety Journal*. 2015; 71:217-225. DOI: 10.1016/j.fire-saf.2014.11.030
19. Laufer J. The structure of turbulence in fully developed pipe flow. *NACA Report 1174*. 1954; 417-434. URL: <http://naca.central.cranfield.ac.uk/reports/1954/naca-report-1174.pdf>
20. Guildenbecher D.R., Sojka P.E. Experimental investigation of aerodynamic fragmentation of liquid drops modified by electrostatic surface charge. *Atomization and Sprays*. 2011; 21(2):139-147. DOI: 10.1615/AtomizSpr.2011003299
21. Kennedy M.J., Conroy M.W., Dougherty J.A., Otto N., Williams B.A., Ananth R., Fleming J.W. Bubble coarsening dynamics in fluorinated and non-fluorinated firefighting foams. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2015; 470: 268-279. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2015.01.062
22. Korolchenko D.A., Sharovarnikov A.F. Universality of mechanisms of fire suppression by various extinguishing agents. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2014; 23(11):84-88. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/universalnost-mehanizmov-tusheniya-plameni-razlichnymi-gnetushaschimi-veschestvami> (rus).

23. Korolchenko D.A., Sharovarnikov A.F. Analysis of the dual fire suppression mechanism. *Pozharo-vzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2014; 23(12):59-68. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-dvoystvennogo-mehanizma-tusheniya-plameni> (rus).

*Поступила 13.01.2021, после доработки 12.02.2021;
принята к публикации 16.02.2021*

*Received January 13, 2021; Received in revised form February 12, 2021;
Accepted February 16, 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 чрезвычайных ситуаций 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: pzachsv@mail.ru

Information about the authors

Dmitriy A. KORLCHENKO, 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, Honored 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: pzachsv@mail.ru

Оценка электропроводимости струй температурно-активированной воды с дозированием ингибирующей соли для тушения электрооборудования газокomppressorных станций

© В.В. Роечко¹, Т.И. Чистяков², Д.В. Тараканов³, Р.В. Халиков¹ ✉

- ¹ Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)
- ² Вологодский учебный центр федеральной противопожарной службы (Россия, 347360, г. Вологодск, 8-я Заводская ул., 7)
- ³ Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 153040, г. Иваново, ул. Строителей, 33)

АННОТАЦИЯ

Введение. Одной из основных проблем пожаротушения объектов газокomppressorных станций (ГКС) являются пожары в замкнутых пространствах, в которых могут находиться электроустановки под напряжением. Предложено использовать для тушения данных пожаров струи температурно-активированной воды с добавлением солей, ингибирующих горение. Для исключения возможности поражения личного состава подразделений пожарной охраны электрическим током необходимо провести оценку электропроводимости данных струй.

Материалы и методика. В экспериментальном исследовании основным электроизмерительным прибором является цифровой мегаомметр постоянного тока М4122U, подключаемый для съема показаний и управляемый с помощью ноутбука. Измерение расхода производилось измерительным комплексом ИТ 2518 с первичным преобразователем расхода турбинного типа ТДР14-2-3. Электромагнитная обработка воды выполнялась преобразователем жесткости «Термит Т-35».

Теоретические основы. Измерение токов утечки по струям температурно-активированной воды, подаваемым с помощью пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого, и предельно допустимые расстояния до электроустановки были определены экспериментально-аналитическим методом с использованием опытно-экспериментального стенда.

Результаты и обсуждения. Усредненные значения измеряемого сопротивления для струи температурно-активированной воды, полученной из дальнобойного ствола, в контрольных точках не выходят из коридора достоверности с вероятностью 0,95, а значит, не приводят к существенному изменению полного сопротивления постоянному току. Дозирование в недогретую воду ингибирующей соли приводит к уменьшению сопротивления струй температурно-активированной воды не более чем на 2...3 % по сравнению с недогретой водой. Обработка преобразователем жесткости «Термит Т-35» дозированной в недогретую воду ингибирующей соли не приводит к существенному изменению сопротивления струй температурно-активированной воды.

Выводы. Теоретически и экспериментально доказано, что дозирование ингибирующих солей в недогретую воду, а также применение электромагнитной обработки маломощными преобразователями жесткости не оказывает существенного влияния на электропроводимость струй температурно-активированной воды по сравнению со струями без ингибирующих примесей. Поверхностное тушение электроустановок струями температурно-активированной воды с дозированием ингибирующих горение солей, а также создание огнетушащей концентрации в замкнутых объемах помещений газокomppressorных станций электробезопасно для участников тушения.

Ключевые слова: электробезопасность; ингибиторы горения; объемное пожаротушение; пожары класса Е; электромагнитная обработка; экспериментально-аналитический метод; опытно-экспериментальный стенд

Благодарности. Исследование проводится при поддержке Фонда содействия инновациям по договору № 15204ГУ/2020 от 5 июня 2020 г.

Для цитирования: Роечко В.В., Чистяков Т.И., Тараканов Д.В., Халиков Р.В. Оценка электропроводимости струй температурно-активированной воды с дозированием ингибирующей соли для тушения электрооборудования газокomppressorных станций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 1. С. 64–74. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.64-74

✉ Халиков Ринат Валерьевич, e-mail: vokilah@rambler.ru

Assessment of the electrical conductivity of thermally activated water jets containing injections of inhibiting salt used to extinguish electrical equipment at gas compressor stations

© Vladimir V. Roenko¹, Timur I. Chistyakov², Denis V. Tarakanov³, Rinat V. Khalikov¹ ✉

¹ 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)

² Volgodonsk Training Center of State Fire Service (8-ya Zavodskaya St., 7, Volgodonsk, 347360, Russian Federation)

³ Ivanovo Fire Rescue of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters (Stroiteley St., 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. One of the main problems of fire extinguishing at gas compressor stations is fires in confined spaces where electrical installations can be under voltage. To extinguish these fires, the co-authors propose to use jets of thermally activated water containing salts that inhibit burning. It is necessary to assess the electrical conductivity of water jets to prevent the exposure of fire-fighting units to electrical injuries.

Materials and methods. In the experimental study, the principal electricity measuring instrument is digital dc megaohmmeter M4122U, which takes readings if operated from a laptop. The flow rate was measured using IT 2518 measurement complex and TDR14–2–3 primary flow converter of the turbine type. Termit T-35 hardness converter performed electromagnetic water treatment.

Theoretical fundamentals. Measurements of leakage currents in jets of thermally activated water, fed through fire nozzles mounted onto a multi-purpose fire truck, were taken, and the maximum permissible distance to an electrical installation was determined experimentally and analytically using an experimental stand.

Results and discussions. Averaged values of resistance of a jet of thermally activated water fed from a long-range nozzle at control points do not leave the confidence corridor with a probability of 0.95, which means that they do not cause a significant change in dc resistance. Inhibiting salt, injected into the water, reduces the resistance of jets of thermally activated water by no more than 2–3 % compared to under-heated water. The treatment of the inhibiting salt, injected into the under-heated water, using Termit T-35 hardness converter, does not significantly change the resistance of thermally activated water jets.

Conclusions. It is theoretically and experimentally proved that the injection of inhibiting salts into the under-heated water, as well as the electromagnetic treatment of water using low-power stiffness converters, do not significantly affect the electrical conductivity of jets of thermally activated water if compared to jets that contain no inhibiting admixtures. The extinguishing of surfaces of electrical installations using jets of thermally activated water containing flame inhibiting injections of salts, as well as the development of an inerting concentration in confined spaces of gas compressor stations is electrically safe for any person engaged in fire extinguishing.

Keywords: electrical safety; flame inhibitors; volumetric fire-fighting; class E fires; electromagnetic treatment; experimental and analytical method; pilot experiment stand

Acknowledgments. The study enjoys support from the Innovation Promotion Fund pursuant to Agreement No. 15204GU/2020 of June 05, 2020.

For citation: Roenko V.V., Chistyakov T.I., Tarakanov D.V., Khalikov R.V. Assessment of the electrical conductivity of thermally activated water jets containing injections of inhibiting salt used to extinguish electrical equipment at gas compressor stations. *Pozharovzrybovbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(1):64-74. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.64-74 (rus).

✉ Rinat Valeryevich Khalikov, e-mail: vokilah@rambler.ru

Введение и актуальность темы исследования

Газодобывающая отрасль в совокупности с газотранспортной системой являются важнейшими частями экономики Российской Федерации. Экспорт природного газа — существенная статья доходов бюджета страны. Обеспечение бесперебойных поставок энергоносителей потребителям зависит от слаженной и безаварийной работы предприятий газовой отрасли. Для бесперебойного газоснабжения потребителей на территории Российской Феде-

рации эксплуатируются более 290 газокomppressorных станций (ГКС). По данным статистики [1–3], в год на ГКС случается от 15 до 18 аварий, сопровождающихся пожарами. Более 70 % всех пожаров происходит в замкнутых объемах сооружений ГКС.

Подразделения пожарной охраны, прибывшие на тушение таких пожаров, сталкиваются с опасностью поражения электрическим током от работающего электрооборудования. Выполнение требований электробезопасности и отключение всех источников электроснабжения требуют дополни-

тельного времени, за которое пожар получает развитие, а ущерб возрастает. Особенностью обеспечения электроэнергией ГКС, усложняющей организацию безопасного тушения электроустановок (ЭУ), является их принадлежность к объектам I категории электроснабжения, на которых предусмотрено два независимых источника электропитания. В качестве первого ввода питания используется внешняя линия электропередач, а второго — аварийная дизельная электростанция (ДЭС). Как показывают практика и анализ статистики [1–4], отключение внешней линии электропередач не предотвращает возникновение опасности поражения электрическим током. Это связано с тем, что в 60 % случаев автоматика управления воспринимает нарушение в электроснабжении ГКС во время пожара, как сигнал к включению ДЭС, поэтому создаются условия, когда необходимо производить тушение электроустановок, находящихся под напряжением.

Эффективность объемного тушения пожаров существующими средствами в замкнутых объемах помещений и сооружений ГКС составляет не более 57 % [5]. По этой причине предпочтение необходимо отдавать техническим средствам и веществам объемного тушения. На рис. 1 представлена диаграмма зависимости величины защищаемого объема помещения от вида огнетушащего вещества (ОТВ). Эффект объемного тушения, при использовании ОТВ, представленного на диаграмме (см. рис. 1), достигается несколькими способами: 1) вытеснение кис-

лорода и уменьшение его объемной концентрации в воздухе; 2) охлаждение зоны горения; 3) изоляция топлива от окислителя.

Из визуального анализа диаграммы на рис. 1 видно, что наибольший защищаемый объем у температурно-активированной воды (ТАВ) [6]. Усилить огнетушащую способность ТАВ можно путем дозирования растворов ингибиторов горения в магистральную рукавную линию для подачи недогретой до температуры кипения при данном избыточном давлении воды (далее — недогретая вода). Применение таких ингибиторов позволит реализовать способ тушения, основанный на торможении экзотермической окислительно-восстановительной реакции горения [7–11]. Кроме того, в работах [12–15] приводится обоснование использования электромагнитной обработки водного раствора ингибитора для повышения эффективности объемного тушения.

В исследованиях [16–18] было установлено, что струи ТАВ имеют низкую электропроводимость. Поверхностное тушение пожаров класса Е струями ТАВ безопасно и не ведет к поражению электрическим током. Объемное тушение ТАВ в [16] не рассматривалось, но логично предположить, что реализация такого вида тушения на ГКС будет осуществляться с помощью подачи струй ТАВ через отверстия в стенах и перекрытиях горящих помещений с помощью стволов автомобиля пожарного многоцелевого (АПМ). Таким образом, актуальными являются исследования электропроводимости

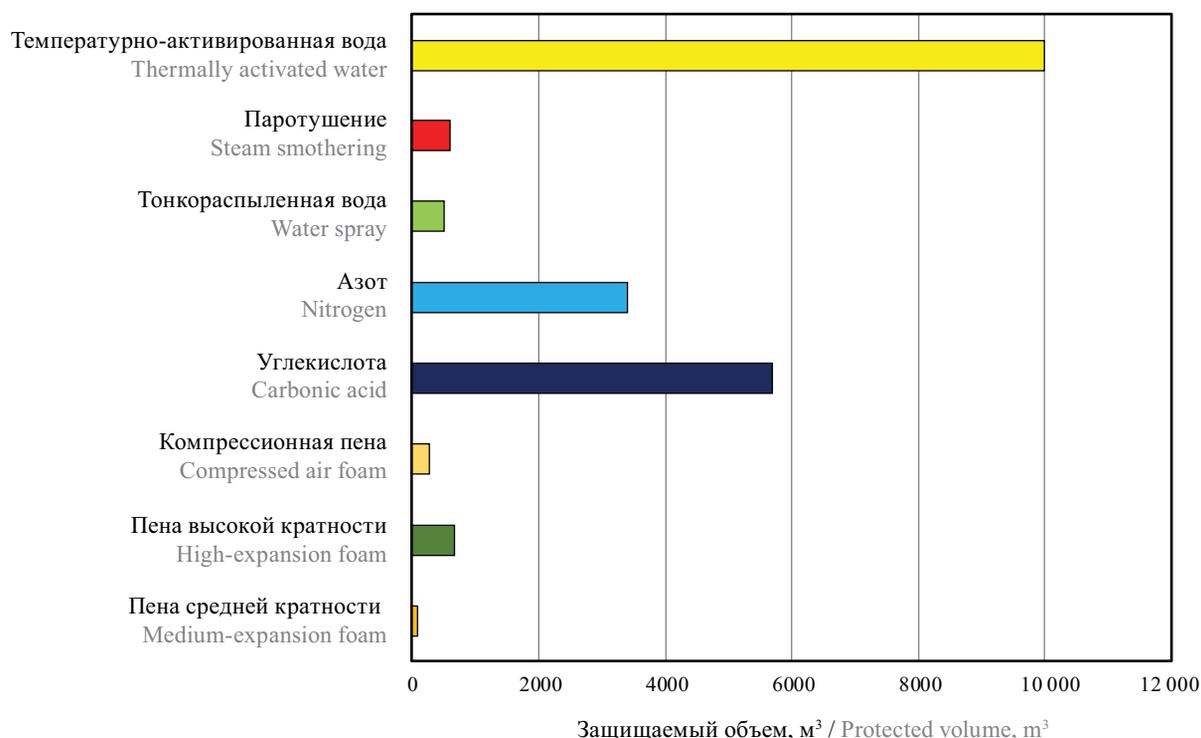


Рис. 1. Зависимость величины защищаемого объема от вида огнетушащего вещества [5]

Fig. 1. Dependence of the area to be protected on the type of an extinguishing agent [5]

струй ТАВ с дозированием ингибирующей соли для тушения электрооборудования газокompрессорных станций. Для обеспечения электробезопасности участников тушения электрооборудования ГКС необходимо оценить, насколько изменяется электропроводимость струй ТАВ с дозированием ингибиторов и без них.

Теоретическое описание параметров электропроводимости струй температурно-активированной воды

В работах [16–18] струя ТАВ классифицируется как гетерогенный двухфазный поток с поли-

$$\sigma_{\text{эф}}(l_{\text{полн}}) = \sigma_{\text{п}} \frac{\sigma_{\text{в}}(1 + 2C_{\text{в}}(l_{\text{полн}})) + 2\sigma_{\text{п}}(1 - C_{\text{в}}(l_{\text{полн}}))}{(1 - C_{\text{в}}(l_{\text{полн}}))\sigma_{\text{в}} + (2 + C_{\text{в}}(l_{\text{полн}}))\sigma_{\text{п}}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{в}}$ — удельная проводимость капель воды полидисперсной фазы струи ТАВ, См/м;

$\sigma_{\text{п}}$ — удельная проводимость монодисперсионной паровой фазы струи ТАВ, См/м;

$C_{\text{в}}(l_{\text{полн}})$ — нормированная к единице объемная концентрация полидисперсной фазы, зависящая от длины $l_{\text{полн}}$ струи ТАВ.

Формулу (1) можно преобразовать, учитывая, что струя ТАВ представляет собой усеченный конус, а удельная электрическая проводимость является обратной величиной эффективного удельного сопротивления:

$$\sigma_{\text{эф}}(l_{\text{полн}}) = \frac{l_{\text{полн}} \text{ctg}(\alpha/2)}{R(l_{\text{полн}}) \pi y_1 (l_{\text{полн}} + y_1 \text{ctg}(\alpha/2))}, \quad (2)$$

где $R(l_{\text{полн}})$ — сопротивление постоянному току струи ТАВ, зависящее от длины струи, Ом;

$l_{\text{полн}}$ — длина струи ТАВ, м;

α — угол раскрытия струи ТАВ, рад;

y_1 — радиус среза сопла ствола, м.

дисперсной водокапельной и монодисперсионной паровой фазами. В [16] установлено, что при тушении ЭУ переменного тока частотой 50 Гц, функционирующей под напряжением, струя ТАВ является *электроперколяционной системой*, т.е. такой системой, которая представляет непроводящую пространственную сетку с проводящими включениями. Проводящими включениями выступают паровая и капельная фазы. Следовательно, удельная эффективная электропроводимость струй ТАВ складывается из удельной электропроводимости паровой и капельной фаз, нормированных к единице объема:

Совместное рассмотрение формул (1) и (2) показывает прямую зависимость объемной концентрации $C_{\text{в}}(l_{\text{полн}})$ от сопротивления струи ТАВ постоянному току $R(l_{\text{полн}})$. Токи утечки по струям ТАВ, подаваемым с помощью пожарных стволов АПМ, и предельно допустимые расстояния до ЭУ были определены экспериментально-аналитическим методом, разработанным в [16].

Экспериментальное исследование струй температурно-активированной воды с дозированием ингибирующей соли

В экспериментально-аналитическом методе ключевое значение имеет объемная концентрация $C_{\text{в}}(l_{\text{полн}})$ полидисперсной (капельной) фазы, которая была найдена косвенным путем по массиву значений сопротивлений $R(l_{\text{полн}})$, полученному с помощью опытно-экспериментального стенда, изображенного на рис. 2.



Рис. 2. Проведение измерений на опытно-экспериментальном стенде массива сопротивлений постоянному току при подаче струи температурно-активированной воды из дальнобойного пожарного ствола

Fig. 2. Measurements are being taken at a pilot experiment stand designated for measuring dc resistances arising in the process of feeding a thermally activated water jet through a long-range fire hose nozzle

Анализ выражения (1) показывает, что при известных значениях объемной концентрации $C_v(l_{полн})$ и удельной проводимости пара $\sigma_{п}$ удельная эффективная электропроводность $\sigma_{эф}(l_{полн})$ будет изменяться в зависимости от значения $\sigma_{в}$ — удельной проводимости капель воды в струе ТАВ. Значение удельной проводимости $\sigma_{в}$ может меняться от минимальных значений $\sigma_{в,мин}$, соответствующих дистиллированной воде, лишенной примесей, до максимальных значений $\sigma_{в,маx}$ в воде, насыщенной ионами растворов электролитов. При помощи формулы (1) оценим девиацию $\sigma_{эф}(l_{полн})$ в зависимости от изменения $\sigma_{в}$ в интервале от $\sigma_{в,мин} = 0,0005$ См/м до $\sigma_{в,маx} = 100,0$ См/м. При этом учтем, что значения из справочной литературы для удельной электрической проводимости пара — $\sigma_{п} = 0,5$ нСм/м, а значения объемной концентрации $C_v(l_{полн})$ возьмем из [11], определив его из зависимости, представленной на рис. 3 для дальнобойного ствола.

При оценке девиации удельной эффективной проводимости струй ТАВ $\sigma_{эф}(l_{полн})$ учтем, что экспериментальные исследования проводились на территории ФАУ ДПО Волгодонский учебный центр ФПС, где использовалась вода из пожарного гидранта, которая по данным кондуктометрии обладает удельной электрической проводимостью $\sigma_{в} = 0,0312$ См/м. Расчеты удельной эффективной проводимости струй ТАВ $\sigma_{эф}(l_{полн})$ были проведены для ствола дальнобойного, с расходом недогретой воды 1 л/с, а результаты представлены в табл. 1.

Расход других пожарных стволов АПМ составляет 0,5 л/с, а создаваемая ими объемная концентрация капель воды в струе ТАВ меньше, чем у дальнобойного ствола АПМ (см. рис. 3). Согласно выражениям (1) и (2), чем больше объемная концентрация $C_v(l_{полн})$, тем меньше сопротивление постоянному току $R(l_{полн})$ струи ТАВ, поэтому выбор для исследования дальнобойного ствола АПМ не слу-

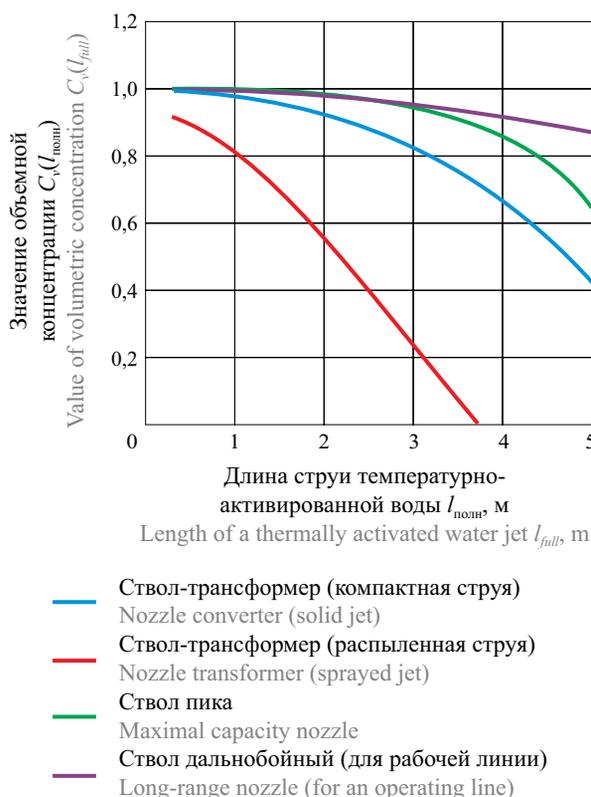


Рис. 3. График объемной концентрации $C_v(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды для различных типов пожарных стволов автомобиля пожарного многоцелевого
 Fig. 3. The diagram illustrating $C_v(l_{full})$, the volumetric concentration of thermally activated water jets for various types of fire hose nozzles mounted onto a multi-purpose fire truck

чаен, а основан на опасении, что применение именно этого пожарного ствола при тушении пожаров класса Е будет представлять наибольшую потенциальную опасность поражения электрическим током для личного состава.

Таблица 1. Результаты расчетов удельной эффективной проводимости струй ТАВ для ствола дальнобойного
 Table 1. Results of calculations of specific effective conductivity of TAV jets for a long-range nozzle

| Длина струи температурно-активированной воды $l_{полн}$, м Length of a thermally activated water jet, l_{full} , m | Объемная концентрация $C_v(l_{полн})$ Volumetric concentration $C_v(l_{full})$ | Удельная эффективная проводимость $\sigma_{эф}(l_{полн})$ струй температурно-активированной воды, нСм/м Specific effective conductivity $\sigma_{eff}(l_{full})$ of thermally activated water jets, ncm/m | | |
|--|---|--|--|--|
| | | $\sigma_{в,мин} = 0,0005$ См/м $\sigma_{v,мин} = 0,0005$ Cm/m | $\sigma_{в} = 0,0312$ См/м $\sigma_v = 0,0312$ Cm/m | $\sigma_{в,маx} = 100,0$ См/м $\sigma_{v,маx} = 100,0$ Cm/m |
| 0,3 | 0,985420127 | 101,8606999 | 101,881222 | 101,8815562 |
| 1,0 | 0,981353851 | 79,43286711 | 79,44536317 | 79,44556666 |
| 2,0 | 0,968918226 | 47,25528123 | 47,25972171 | 47,25979401 |
| 3,0 | 0,948486238 | 28,11682416 | 28,1184067 | 28,11843247 |
| 4,0 | 0,91622916 | 16,90540467 | 16,90598277 | 16,90599218 |
| 5,0 | 0,866852157 | 10,26545248 | 10,26566899 | 10,26567251 |

Анализ полученных значений из табл. 1 показывает, что при широком диапазоне изменения удельной проводимости капель воды полидисперсной фазы, изменения удельной эффективной проводимости струй ТАВ не превышают долей процента, так как затрагивают значения во 2–5 знаке после запятой.

Таким образом, при проведении экспериментального исследования струй ТАВ с дозированием ингибирующих солей, можно предполагать незначительное (не более 2...3 %) увеличение проводимости струй по сравнению с ТАВ без ионообразующих примесей. Если это предположение подтвердится экспериментально для дальнобойного ствола с наибольшим расходом неогретой воды и наименьшим электрическим сопротивлением струи ТАВ, то, экстраполируя полученные результаты на другие пожарные стволы АПМ (ствол-трансформер, ствол-пика), можно утверждать, что тушение ими будет более безопасно.

Экспериментальные исследования [19, 20] показывают высокую эффективность использования солей калия в качестве водорастворимых ингибиторов горения, поэтому дозируемой ингибирующей солью был выбран тригидрат гексацианоферрата (II) калия $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$ (далее — гексацианоферрат (II) калия). Параметры растворимости гексацианоферрата (II) калия в воде представлены на рис. 4.

Этот ингибитор горения был использован в 25 % концентрации при проведении испытаний на опытно-экспериментальном стенде (см. рис. 2) с применением экспериментально-аналитического

метода [16] обработки массива сопротивлений постоянного тока для получения значений переменного тока утечки по струе ТАВ. Для приготовления 25 % раствора неогретой воды с дозированием желтой кровяной соли был использован агрегат электронасосный дозировочный одноплунжерный, изображенный на рис. 5, а. Для электромагнитной обработки раствора был использован преобразователь жесткости «Термит Т-35», изображенный на рис. 5, б.

Испытания проводились при температуре окружающей среды 23 °С и скорости ветра 1,0...1,5 м/с. Температура неогретой воды составляла 175 °С при расходе на дальнобойном стволе — 1 л/с и избыточном давлении перед стволом — 1,5 МПа.

Сбор экспериментальных данных производился в трех контрольных точках длины струи: 1) $l_{\text{полн.1}} = 0,3$ м; 2) $l_{\text{полн.2}} = 2,0$ м; 3) $l_{\text{полн.3}} = 4,0$ м.

Расстояние от держателя испытываемого ствола до металлического экрана составляло 6,0 м.

Целью испытаний была оценка электропроводимости струй ТАВ при их получении из дальнобойного ствола АПМ с использованием огнетушащей среды:

- 1) неогретая вода (для сравнения полученных результатов с данными из работы [11]);
- 2) неогретая вода с дозированием ингибирующего солевого раствора;
- 3) неогретая вода с дозированием ингибирующего солевого раствора, подвергнутая обработке преобразователем жесткости «Термит Т-35».

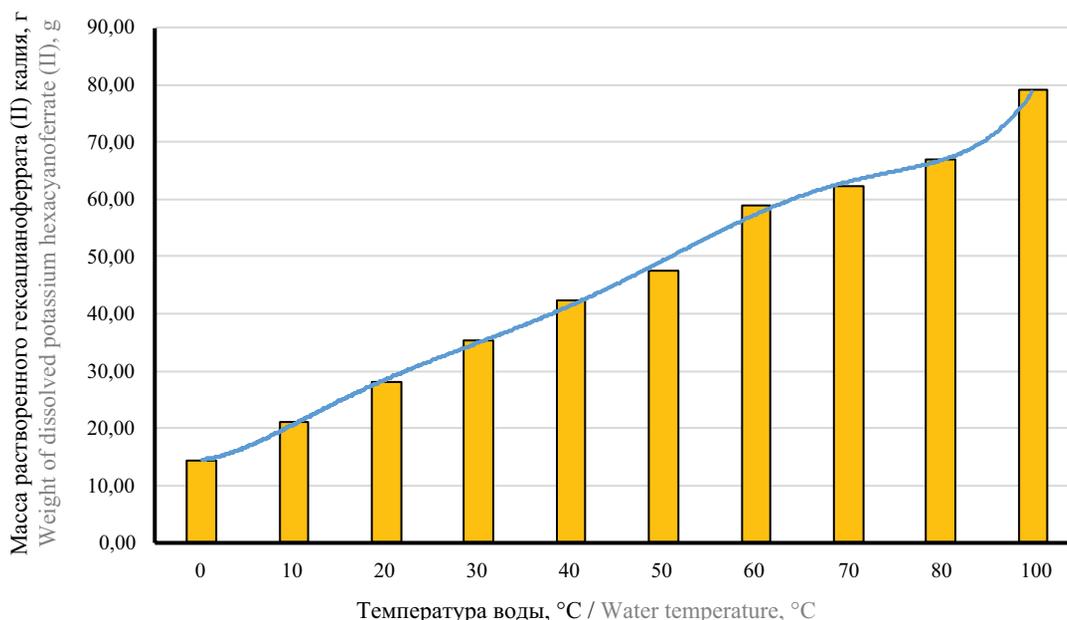


Рис. 4. Растворимость гексацианоферрата (II) калия в воде в зависимости от ее температуры

Fig. 4. Solubility of potassium hexacyanoferrate (II) in the water depending on its temperature



a



b

Рис. 5. Подключение дополнительных систем в магистральную рукавную линию для подачи недогретой воды к стволу дальнобойному: *a* — агрегат электронасосный дозировочный одноплунжерный; *b* — преобразователь жесткости «Термит Т-35»
Fig. 5. Connection of additional systems to the main hose line needed to feed under-heated water to the long-range nozzle: *a* — single-plunger electrical pump; *b* — Termit T-35 hardness converter

Результаты экспериментального исследования и обсуждение

Полученные экспериментальные данные для струй ТАВ с дозированием желтой кровяной соли сравнивались с данными из диссертации [18] для струй ТАВ без ионизирующих примесей. Результаты сравнения усредненных сопротивлений $R_{изм}$, измеренных на опытно-экспериментальном стенде, представлены на рис. 6.

Сопротивление струи ТАВ постоянному току $R(l_{полн})$ связано с усредненным значением сопротивления $R_{изм}$ через выражение:

$$\begin{cases} R(l_{полн}) = 2 \left(R_{max} - \sqrt{R_{max} (R_{max} - R_{изм})} \right) \\ \text{при } R(l_{полн}) \leq 2R_{max} \\ R(l_{полн}) = 2 \left(R_{max} + \sqrt{R_{max} (R_{max} - R_{изм})} \right) \\ \text{при } R(l_{полн}) > 2R_{max} \end{cases}, \quad (3)$$

где R_{max} — максимальное значение усредненного измеренного сопротивления в массиве $R_{изм}$, ГОМ. Для повышения точности измерения величины $R_{изм}$, а также нейтрализации влияния постоянной составляющей и ее флуктуаций, образующихся

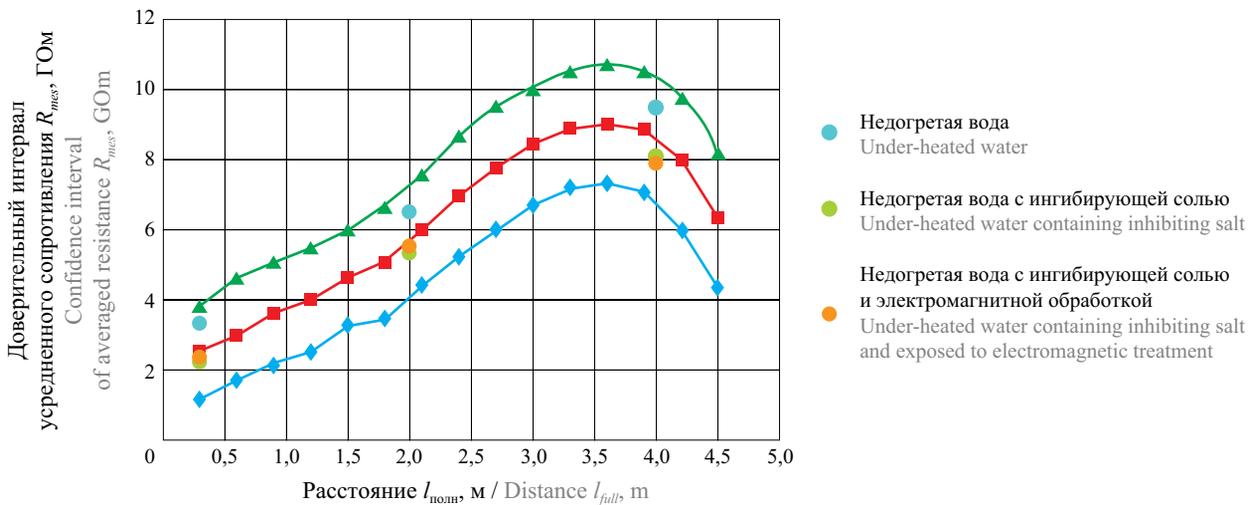


Рис. 6. Сравнение усредненных значений сопротивлений $R_{изм}$, полученных при испытаниях дальнобойного ствола
Fig. 6. Comparison of averaged values of resistances R_{mes} , obtained in the course of testing a long-range nozzle

при переносе отрицательного заряда каплями струи ТАВ, было проведено n измерений сопротивления струи $R_{изм.i}$ при верхнем положении переключателя и k измерений сопротивления струи $R_{изм.j}$ при нижнем положении переключателя полярности щупов мегаомметра опытно-экспериментального стенда [18] (см. рис. 1) при каждом увеличении расстояния на величину $\Delta l_{полн}$, а полученные данные усреднялись по количеству измерений:

$$R_{изм} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{изм.i} + \sum_{j=1}^k R_{изм.j}}{n + k}. \quad (4)$$

Анализ полученных экспериментальных данных показал:

1) результаты испытаний струи ТАВ, полученной из недогретой воды без ионизирующих примесей, с большой степенью достоверности коррелируются с предыдущими измерениями, полученными при проведении экспериментального исследования в работе [11];

2) усредненные значения сопротивлений $R_{изм}$ в формуле (4) для струи ТАВ, полученной из дальноточного ствола АПМ, в контрольных точках не выходят из коридора достоверности с вероятностью 0,95, а значит, не приводят к существенному изменению сопротивления $R(I_{полн})$ постоянному току в формуле (3);

3) дозирование в недогретую воду ингибирующей соли приводит к уменьшению сопротивления струй ТАВ не более чем на 2...3 % по сравнению

с недогретой водой без ионизирующих примесей, как и было предсказано априори (см. табл. 1);

4) обработка дозированной в недогретую воду ингибирующей соли преобразователем жесткости «Термит Т-35» не приводит к существенному изменению сопротивления струй ТАВ.

Выводы

Теоретически и экспериментально доказано, что дозирование ингибирующих солей в недогретую воду, а также применение электромагнитной обработки маломощными преобразователями жесткости не оказывают существенного влияния на электропроводимость струй ТАВ при их получении из пожарных стволов АПМ по сравнению со струями без ионизирующих примесей. На этом основании можно утверждать, что поверхностное тушение электрооборудования и ЭУ струями ТАВ с дозированием солевых ингибиторов и создание огнетушащей концентрации в замкнутых объемах помещений ГКС с помощью стволов АПМ через отверстия в стенах и перекрытиях электробезопасно для участников тушения. При тушении пожаров класса Е струями ТАВ с ингибирующими свойствами должны применяться рекомендации из диссертации [18].

В дальнейших исследованиях необходимо рассмотреть аспект эффективности объемного пожаротушения ТАВ с дозированием солевых ингибиторов при использовании электромагнитной обработки с помощью преобразователей жесткости большой мощности при тушении зданий и сооружений ГКС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году : ст. сб. М. : ВНИИПО, 2019. 125 с.
2. Быков А.И. Методика оценки массы природного газа, участвующего в образовании огненного факела при разрыве магистрального газопровода // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2015. Т. 24. № 9. С. 48–54. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.48-54
3. Warzyńska U., Kollek W. Modelling of pressure pulsation in gas compressor station // Engineering Mechanics 2018. Czech Republic. May 14–17. 2018. Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Czech Academy of Sciences, 2018. DOI: 10.21495/91-8-913
4. Тагиев Р.М. Принципы оптимизации систем пожарной безопасности объектов ОАО «ГАЗПРОМ» // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2006. Т. 15. № 4. С. 70–73.
5. Роевко В.В., Халиков Р.В. Пожаровзрывобезопасность замкнутых пространств объектов газодвигательных станций // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 1. С. 30–35. DOI: 10.25257/FE.2020.1.30-35
6. Роевко В.В., Храмов С.П., Сегаль М.Д., Краснов С.М. Объемный способ пожаротушения кабельных сооружений температурно-активированной водой // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2017. № 3. С. 40–50. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28399867> (дата обращения 01.06.2019).
7. Азатян В.В. Цепные реакции в процессах горения, взрыва и детонации газов : монография. Черноголовка, 2017. 431 с.
8. Warnatz J., Maas U., Dibble R.W. Combustion: physical and chemical fundamentals, modeling and simulation, experiments, pollutant formation : with 14 tables. Einheitssacht : Technische Verbrennung, 2018. 15 p.

9. Fomin P.A., Jenq-Renn Chen. Effect of chemically inert particles on thermodynamic characteristics and detonation of a combustible gas // *Combustion Science and Technology*. 2009. Vol. 181. No. 8. Pp. 1038–1064. DOI: 10.1080/00102200902908535
10. Fomin P.A., Mitropetros K.S., Hieronymus H. Modeling of detonation processes in chemically active bubble systems at normal and elevated initial pressures // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2003. Vol. 16. No. 4. Pp. 323–331. DOI: 10.1016/S0950-4230(03)00018-4
11. Fleming J.W., Williams B.A., Sheinson R.S. Suppression effectiveness of aerosols: the effect of size and flame type // Navy Technology Center for Safety and Survivability Combustion Dynamics Section. 2019. 21 p. URL: <https://www.nist.gov/publications/suppression-effectiveness-aerosols-effect-size-and-flame-type>
12. Халиков Р.В. Электрохимический подход к объемному тушению пожаров газокomppressorных станций // Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли : мат. II Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 01 января – 31 декабря 2019 г. Уфа, 2019. С. 23–28.
13. Amor H.B., Elaoud A., Salah N.B., Elmoueddeb K. Effect of magnetic treatment on surface tension and water evaporation // *International Journal of Advance Industrial Engineering*. 2017. Vol. 5. No. 3. Pp. 119–124. DOI: 10.14741/Ijiae/5.3.4
14. Redouane Mghaiouini, Aniss Elaoud, Toufik Garmim, Belghiti M.E., Valette Eric, Charles Henri Faure et al. The electromagnetic memory of water at kinetic condition // *International Journal of Current Engineering and Technology*. 2020. Vol. 10. No. 1. P. 11. DOI: 10.14741/ijcet/v.10.1.3
15. Liu H., Wang F. Research on N₂-inhibitor-water mist fire prevention and extinguishing technology and equipment in coal mine goaf // *PLOS ONE*. 2019. Vol. 14. No. 9. P. e0222003. DOI: 10.1371/journal.pone.0222003
16. Чистяков Т.И. Влияние геометрических параметров струй температурно-активированной воды на комплексное сопротивление при тушении пожаров класса Е // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2017. № 2. С. 12–21. DOI: 10.25257/FE.2017.2.12-21
17. Чистяков Т.И. Влияние электроперколяционных параметров струй температурно-активированной воды на их комплексное сопротивление при тушении пожаров класса Е // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация*. 2018. № 1. С. 12–21. DOI: 10.25257/FE.2018.1.63-71
18. Чистяков Т.И. Применение температурно-активированной воды при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики : дис. ... канд. техн. наук. М. : Академия ГПС МЧС России, 2020. 277 с.
19. Коробейничев О.П., Шмаков А.Г., Чернов А.А., Шварцберг В.М., Куценогий К.П., Марков В.И. Применение аэрозольной технологии и эффективных нелетучих пламегасителей для тушения различных типов пожаров // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2012. № 3. С. 92–101. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17980207>
20. Коробейничев О.П., Шмаков А.Г., Чернов А.А., Шварцберг В.М., Якимов С.А., Князьков Д.А. и др. Исследование фосфорорганических, фторорганических, металлосодержащих соединений и твердотопливных газогенерирующих составов с добавками фосфорсодержащих соединений в качестве эффективных пламегасителей // *Физика горения и взрыва*. 2006. Т. 42. № 6. С. 64–73.

REFERENCES

1. *Fires and fire safety in 2018 : statistical collection*. Moscow, VNIPO, 2019; 125. (rus).
2. Bykov A.I. Method of estimating of the natural gas mass involved in the formation of a fiery torch at break of the main pipeline. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2015; 24(9):48-54. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.48-54 (rus).
3. Warzyńska U., Kollek W. Modelling of pressure pulsation in gas compressor station. *Engineering Mechanics 2018. Czech Republic. May 14–17. 2018*. Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Czech Academy of Sciences, 2018. DOI: 10.21495/91-8-913
4. Tagiev R.M. Principles of optimization of fire safety systems of objects of JSC “GAZPROM”. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2006; 15(4):70-73. (rus).
5. Roenko V.V., Khalikov R.V. Fire and explosion safety in closed spaces of objects of gas compressor stations. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2020. 1:30-35. DOI: 10.25257/FE.2020.1.30-35 (rus).

6. Roenko V.V., Khrantsov S.P., Segal M.D., Krasnov S.M. Total flooding of cable structures with temperature activated water. *Problems of security and emergency situations*. 2017; 3: 40-50. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28399867> (accessed June 1, 2019) (rus).
7. Azatyan V.V. *Chain reactions in the processes of flame, explosion and detonation of gases : monograph*. Chernogolovka, 2017; 431. (rus).
8. Warnatz J., Maas U., Dibble R.W. *Combustion: physical and chemical fundamentals, modeling and simulation, experiments, pollutant formation : with 14 tables*. Einheitssacht, Technische Verbrennung, 2018; 15.
9. Fomin P.A., Chen J.-R. Effect of chemically inert particles on thermodynamic characteristics and detonation of a combustible gas. *Combustion Science and Technology*. 2009; 181(8):1038-1064. DOI: 10.1080/00102200902908535
10. Fomin P.A., Mitropetros K.S., Hieronymus H. Modeling of detonation processes in chemically active bubble systems at normal and elevated initial pressures. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2003; 16(4):323-331. DOI: 10.1016/S0950-4230(03)00018-4
11. Fleming J.W., Williams B.A., Sheinson R.S. Fleming suppression effectiveness of aerosols: the effect of size and flame type. *Navy Technology Center for Safety and Survivability Combustion Dynamics Section*. 2019; 21. URL: <https://www.nist.gov/publications/suppression-effectiveness-aerosols-effect-size-and-flame-type>
12. Khalikov R.V. Electrochemical approach to volumetric fire extinguishing of gas compressor stations. *Actual Problems and Trends in the Development of Technosphere Safety in the oil and Gas Industry : proceedings of the II International scientific and practical conference. Ufa, 01 January-31 December 2019*. Ufa, 2019; 23-28. (rus).
13. Amor H.B., Elaoud A., Salah N.B., Elmoueddeb K. Effect of magnetic treatment on surface tension and water evaporation. *International Journal of Advance Industrial Engineering*. 2017. 5(3):119-124. DOI: 10.14741/Ijiae/5.3.4
14. Redouane Mghaiouini, Aniss Elaoud, Toufik Garmim, Belghiti M.E., Valette Eric, Charles Henri Faure et al. The electromagnetic memory of water at kinetic condition. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 2020; 10(1):11. DOI: 10.14741/ijcet/v.10.1.3
15. Liu H., Wang F. Research on N₂-inhibitor-water mist fire prevention and extinguishing technology and equipment in coal mine goaf. *PLOS ONE*. 2019; 14(9):e0222003. DOI: 10.1371/journal.pone.0222003
16. Chistyakov T.I. Influence of geometrical dimensions of temperature-activated water sprays on complex resistance at extinguishment of class E fires. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2017; 2:12-21. DOI: 10.25257/FE.2017.2.12-21 (rus).
17. Chistyakov T.I. Influence of electropercolation parameters of temperature-activated water sprays on their complex impedance when extinguishing class E fires. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2018; 1:12-21. DOI:10.25257/FE.2018.1.63-71 (rus).
18. Chistyakov T.I. *The use of temperature-activated water in extinguishing electrical installations under voltage at power facilities : dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia, 2020; 277. (rus).
19. Korobeynichev O.P., Shmakov A.G., Chernov A.A., Shvartzberg V.M., Kutsenogiy K.P., Markov V.I. Application of aerosol technology and non-volatile effective fire suppressants for fire-fighting of various types of fires. *Interexpo Geo-Siberia*. 2012; 3:92-101. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17980207> (rus).
20. Korobeynichev O.P., Shmakov A.G., Chernov A.A., Shvartzberg V.M., Yakimov S.A., Knyazkov D.A. et al. Research of organophosphorus, organofluorine, metal-containing compounds and solid-fuel gas-generating compositions with additives of phosphorous-containing compounds as effective flame. *Physics of Flame and Explosion*. 2006; 42(6):64-73. (rus).

Поступила 02.12.2020, после доработки 26.12.2020;

принята к публикации 29.12.2020

Received December 2, 2020; Received in revised form December 26, 2020;

Accepted December 29, 2020

Информация об авторах

РОЕНКО Владимир Васильевич, канд. техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной техники в составе Учебно-научного комплекса пожарной и аварийно-спасательной техники, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 810145; ORCID: 0000-0003-1635-1123; e-mail: piroemail@bk.ru

ЧИСТЯКОВ Тимур Игоревич, преподаватель отделения специальных дисциплин, Волгодонский учебный центр федеральной противопожарной службы, г. Волгодонск, Российская Федерация; РИНЦ ID: 1031971; ORCID: 0000-0002-0063-4260; e-mail: timurvdonsk@mail.ru

ТАРАКАНОВ Денис Вячеславович, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ в составе Учебно-научного комплекса «Пожаротушение», Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Иваново, Российская Федерация; РИНЦ ID: 587331; ORCID: 0000-0002-5811-7397; e-mail: den-pgs@yandex.ru

ХАЛИКОВ Ринат Валерьевич, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 1045928; ORCID: 0000-0002-0842-4989; e-mail: vokilah@rambler.ru

Information about the authors

Vladimir V. ROENKO, Cand. Sci. (Eng.), Professor, Professor of Department of Fire Engineering as Part of Educational and Scientific Complex of Fire And Rescue Equipment, 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: 810145; ORCID: 0000-0003-1635-1123; e-mail: piroemail@bk.ru

Timur I. CHISTYAKOV, Lecturer of Department of Special Disciplines, Volgodonsk Training Center of State Fire Service, Volgodonsk, Russian Federation; ID RISC: 1031971; ORCID: 0000-0002-0063-4260; e-mail: timurvdonsk@mail.ru

Denis V. TARAKANOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor of Department of Fire Tactics and Fundamentals of Emergency Rescue and Other Urgent Work as Part of Educational and Scientific Complex Fire Fighting, Ivanovo Fire Rescue of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Ivanovo, Russian Federation; ID RISC: 587331; ORCID: 0000-0002-5811-7397; e-mail: den-pgs@yandex.ru

Rinat V. KHALIKOV, Postgraduate Student, 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: 1045928; ORCID: 0000-0002-0842-4989; e-mail: vokilah@rambler.ru

Проблема актуального социального регулирования в техносфере на примере пожарной безопасности

© **А.В. Ершов** ✉, **В.Б. Коробко**

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

АННОТАЦИЯ

Данная статья посвящена изучению проблемы актуализации государственного регулирования в техносфере на примере обеспечения пожарной безопасности и градостроительной деятельности.

Техносфера, которая является искусственным образованием, созданным человеком для облегчения и защиты собственной жизни, в последние 50 лет в связи с ускорением социокультурной динамики стала представлять значительно большие проблемы, чем польза от ее использования.

Причина № 1 — несовершенство наших знаний об объектах техносферы, которые мы стремимся пока создавать и применять на основе упрощенных (условных) представлений о природных процессах, лежащих в основе создания и применения этих объектов.

Причина № 2 — логистическое разделение техносферы, в результате которого единое социокультурное пространство регулируется обособленными социальными нормами, ориентированными на узкие фрагментарные цели, определяемые узкогрупповыми субъективными потребностями в получении сиюминутной выгоды.

Причина № 3 — резкое отставание темпов традиционной динамики развития социума от темпов индустриализации и урбанизации, что не обеспечивает надежный контроль за безопасным состоянием техносферы. Одним из способов практического решения этих проблем, который в настоящее время принят на вооружение государственным аппаратом, является комплекс мер по расширению зоны социального контроля и повышению уровня санкций.

При этом из зоны внимания выпал фактор повышения качества социального нормирования, в основе которого лежит принцип предотвращения недопустимого социального вреда.

Проблемы рассмотрены на примере перевода регулирования деятельности по обеспечению пожарной безопасности и градостроительной деятельности на риск-ориентированную модель.

Ключевые слова: динамика техносферы; социокультурные процессы; технические решения; обязательные требования пожарной безопасности; риск-ориентированная модель

Для цитирования: Ершов А.В., Коробко В.Б. Проблема актуального социального регулирования в техносфере на примере пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 1. С. 75–85. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.75-85

✉ Ершов Александр Владимирович, e-mail: ave72@mail.ru

The problem of relevant social regulation of the technosphere exemplified by fire safety

© **Aleksandr V. Ershov** ✉, **Vadim B. Korobko**

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

ABSTRACT

The article addresses the problem of mainstreaming the state regulation of the technosphere in terms of fire safety assurance and urban development.

The technosphere, being an artificial structure created by humans willing to simplify and protect their living, has turned into a major problem rather than a benefit over the last fifty years. Accelerated sociocultural evolution is the reason for this change.

Reason 1 is our poor knowledge of the technosphere and its constituents that we are still willing to create and apply using our simplified (conventional) ideas about the natural processes underlying their creation and application.

Reason 2 is the logistic breakdown of the technosphere, as a result of which the consolidated sociocultural space is regulated by separate social norms focused on minor fragmented goals, determined by subjective needs of small groups willing to obtain immediate benefits.

Reason 3 is decelerated development of the social environment that lags behind industrialization and urbanization. Thus, it is unable to exercise reliable control over the safety of the technosphere.

A set of actions, aimed at the expansion of the area exposed to social control and the tightening of penalties represent a practical solution to these problems that is currently applied by executive government authorities.

However, social regulation quality improvement, based on the principle of prevention of unacceptable social harm, has been disregarded.

The introduction of a risk oriented model into fire safety assurance and urban planning is analyzed in an attempt to consider the problems in question.

Keywords: dynamics of the technosphere; sociocultural processes; technological solutions; binding fire safety requirements; risk oriented model

For citation: Ershov A.V., Korobko V.B. The problem of relevant social regulation of the technosphere exemplified by fire safety. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(1):75-85. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.75-85 (rus).

✉ Aleksandr Vladimirovich Ershov, e-mail: ave72@mail.ru

Введение

Обеспечение собственной безопасности всегда было и остается одной из главных физиологических потребностей человека, которая создает максимально высокий мотивационный потенциал для человеческой активности. При этом главным критерием такой мотивации служит потребность преодолеть критически опасную для жизни и последующей жизнедеятельности ситуацию [1].

Таким образом, безопасность человека определяется его физиологическими способностями к преодолению разных опасных факторов проблемных ситуаций.

Объекты техносферы (технические решения), направленные на защиту человека от опасных проявлений (факторов), выступают в качестве дополнительных защитных мер, повышающих естественные физиологические способности человека сопротивляться опасным для него процессам и явлениям.

Дополнительные защитные меры становятся обязательными, если среда жизнедеятельности человека отличается от естественной настолько, что без применения дополнительных мер защиты человек не способен выжить, сохранить жизнь и не получить травмы, не позволяющие ему сохранить прежнюю стратегию выживания.

Современное «благополучное» общество, как правило, создает для своих членов атмосферу достаточно высокой безопасности жизнедеятельности, насыщая и даже пресыщая физиологические гомеостатические общественные потребности в защите от диких животных, экстремальных температур, преступников, нападений, убийств, тирании и т.д. [1], создавая тем самым атмосферу спокойствия и стабильности, необходимую для раскрытия созидательного и когнитивного потенциала человеческого сознания, повышения качества продукции и производительности труда.

В этой связи следует обратить внимание на факт разделения общества на элиту (избранных, от фр. *elite* — лучшее, отборное; термин «элита» используется в социологии и политологии для обозначения круга лиц, занимающих руководящие должности в управлении государством, в межгосударственном управлении), которая берет на себя функции организатора государственного устройства и управления,

и всех остальных (социум), которые должны следовать установленному порядку.

В условиях трансформации организации общества, соответствующего концепции традиционализма, к обществу на основе концепций модернизма и постмодернизма происходят существенные изменения в видах и полномочиях элит.

В традиционном обществе ведущее место занимает военно-политическая элита, которая естественным образом обеспечивает выживание всего сообщества во враждебном окружающем мире.

В общественном укладе, реализующем концепцию модерна, ведущую роль естественным образом стремится занять экономическая элита (которая в обыденном представлении часто именуется либеральной элитой, поскольку для достижения своей максимальной общественной полезности/экономической эффективности эта элита стремится минимизировать все возможные затраты/расходы на цели, не связанные с собственным экономическим развитием, путем снижения налогового и иного административного и правового общественного давления, в том числе создания максимально возможных благоприятных условий для использования человеческого труда — максимально высокой трудовой нагрузки при максимально низкой оплате труда). Такой общественный уклад характерен для этапа бурного развития и достижения максимального уровня индустриализации и урбанизации, при котором новая экономическая элита стремится противопоставить себя прежней военно-политической элите и отобрать у нее доминирующую общественную роль и функцию. Для решения этой задачи экономическая элита может кооперироваться, создавая внутринациональные и международные группы и синдикаты, действующие скоординированно против военно-политической элиты одной либо нескольких стран.

Для успешной реализации модернистской экономической модели организации общества также используется условие полной (условно полной) защищенности от внешнего враждебного мира, которое позволяет исключить из общественных затрат расходы на оборону и общественную безопасность. Реализацию условия полной защищенности пока могут обеспечить только ведущие мировые державы, компенсирующие собственные затраты расширени-

ем зоны экономического и политического влияния. В этих условиях могут складываться условия конкуренции ведущих стран мира, полезность которых для сателлитов определяется уровнем политической и экономической эффективности собственного и транслируемого им общественного порядка, обеспеченных максимально лучшим соотношением общественно полезного результата и затрат на его достижение. В такой конкурентной борьбе могут быть использованы яркие, но ложные для широко применительной практики технические решения типа «общего зонтика по защите от ядерного удара» или «единой нормативно-технической политики», в частности, «раздувающее» частное техническое решение для автоматических установок по тушению пожаров до уровня всеобщности — распространяя это техническое решение на технические ситуации, в которых они бесполезны, и на экономические ситуации, в которых они неэффективны.

Отсутствие должного (надежного) общественного и государственного контроля за техносферой, обусловленного усложнением самих технических решений, резким ростом количества самих технических решений и отсутствием опыта обеспечения надежного контроля в условиях высоких объемов контролируемой информации, значительно превышающих физиологические человеческие возможности, приводит к экономической, технической, управленческой и социальной деформациям в регулировании техносферы в эпоху модернизма.

Накопление вреда в условиях отсутствия надлежащего контроля за техносферой (который не смогла обеспечить экономическая элита) порождает общественные и государственные процессы по ужесточению контроля (надзора) за техносферой путем вынужденного перехода этой государственной функции к военно-политической элите, которая, не углубляясь в детали, привлекает для ее реализации военные кадры, поручая им разобраться в деталях и неудачах.

Ужесточение контроля (надзора) за техносферой производится новой ответственной элитой без глубокого изучения этой проблемы и с привлечением «опытных» кадров, опыт которых не отвечает уровню проблемы, что уже было доказано их неудачной предыдущей деятельностью.

Ужесточение контроля (надзора) производится исходя из неподтвержденной гипотезы, что предыдущие должностные лица недостаточно строго контролировали стандартизированные технические решения (что, несомненно, является правдой, но не является причиной ненадежного контроля) и что более строгий контроль обеспечит необходимый уровень безопасности.

Такой подход по своей сути является утопией — слепой (непросвещенной) верой в чрезмерно простое решение сложной проблемы, которое ранее уже продемонстрировало свою неэффективность.

Очевидно, что более жесткое (строгое) применение неактуальной (неэффективной) модели контрольно-надзорной и разрешительной деятельности по обеспечению технической безопасности приводит к обратному результату — ухудшению государственного и общественного контроля и выходу техносферы из-под контроля общества. Громкие события техносферных трагедий последних 30 лет по всему миру являются неоспоримыми доказательствами применения неактуальной модели контроля (надзора) за техносферой.

В постмодернистском обществе на лидерство сначала претендует цифровая элита, которая, обеспечивая сбор и хранение, а также установление информационных связей между отдельными информационными фрагментами, блоками, кластерами и другими информационными элементами по уже стандартизированным решениям либо путем выявления этих связей из практики применения информации отдельными членами общества, либо некоторой его совокупностью, либо случайным множеством людей, создает вполне реальную иллюзию успешного тотального контроля не только за техносферой, но и за человеком.

При переходе общества на модернистскую и постмодернистскую модели важнейшую консервативную функцию, обеспечивающую сохранность государственного устройства, продолжает играть военно-политическая элита, основной задачей которой является не сдерживание движения вперед и вверх, а противодействие движению назад и вниз [2, с. 122].

При этом, в постмодернистский период военно-политическая элита обязана создать информационно-научную элиту, способную обеспечить мировое лидерство во всех новых технологических областях, в том числе в области техносферной безопасности, которая для всех государств мира в настоящее время является пока не решенной проблемой.

Основная часть

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 методологии традиционализма и консерватизма.

Сложились необходимые условия для перехода государственного регулирования отношений в области обеспечения техносферной (пожарной) безопасности с прежней условно-типовой на новую расчетно-сценарную (риск-ориентированную, целевую, системную, адресную) модель принятия решений.

Прежняя типовая модель на основе жестко стандартизированных схоластических (условных) типовых решений, пик эффективности которой пришелся на период становления индустриализации, начиная

с конца XIX в. перестала обеспечивать государственное управление решениями, удовлетворяющими общественные потребности, что привело к значительному снижению уровня доверия к государственной контрольно-надзорной и разрешительной деятельности (далее — КНД) со стороны главных бенефициаров — граждан и организаторов производства.

Дальнейшее ускорение социокультурных процессов, обусловленных повышением объемов и темпов индустриализации и урбанизации, привело к усложнению технологических решений в области техносферной безопасности.

Сохранение государственного регулирования на основе морально и физически устаревшей условной типовой модели принятия решений вылилось в резкое нарастание противоречия между производительными силами и производственными отношениями, уровень которого пока не превысил недопустимого.

Новые социально-технологические уклады требуют повышения точности и адресности регулирующего воздействия контрольно-надзорной деятельности, для чего современная научная мысль разработала расчетно-сценарное [3] и игровое [4] моделирование, а также современные информационные упрощающие расчеты технологии [5–7] и цифровые компьютерные технологии, в основе которых лежит методология гиперсжатия базовой части информационного поля, позволяющая производить такое моделирование в кратчайшие сроки (до нескольких секунд) и за минимальные средства [8].

Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что научно-технический прогресс в области техносферной (пожарной) безопасности создал необходимые предпосылки для перевода общественного регулирования социально значимых общественных отношений на более совершенную риск-ориентированную модель.

В области обеспечения пожарной безопасности начало массового перехода было обозначено путем нормативного установления нового порядка разработки необходимых технических решений¹, который резко отличался от практиковавшегося в тот временной период².

Суть различий заключалась в необходимости отказа от прямого применения некоторого типового набора технических решений (типовая модель) в пользу адресного подбора таких технических решений, применение которых позволяет компенсировать вред от опасного технического явления, например от пожара (риск-ориентированная модель).

¹ ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 14 июня 1991 г. № 875.

² Противопожарные нормы : (СНиП 2.01.02-85) : утверждены постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 17 декабря 1985 г. № 232 .

Как видно, различия в методологии принятия решений на основе типовой и риск-ориентированной моделей были настолько большими, что специалисты, подготовленные под прежнюю типовую модель, с трудом понимали, как применить новое регулирование к привычной деятельности.

За прошедшие более чем 30 лет профессиональному сообществу так пока и не удалось преодолеть показанное выше методологическое противоречие, что позволяет утверждать неслучайность данного процесса.

Изучение этой проблемы (перехода КНД на новую риск-ориентированную модель) показало, что разные методологии организации КНД отражают разные сферы деятельности, каждая из которых имеет собственную природу.

Так, в основе градостроительной деятельности лежит модель создания (сложения) нового целого (зданий, сооружений, технологических установок) из отдельных технических решений (конструктивных, технологических, инженерных и иных), которые имеют высокую степень стандартизации. Стандартизированные технические решения — это такие технические решения, которые ранее уже были разработаны, апробированы, многократно применены, что позволило перевести их в ранг стандартов деятельности, обязательных к применению. Таким образом, контроль за качеством градостроительной деятельности производится на основе сопоставления (нахождения либо ненахождения) ранее разработанных и стандартизированных технических решений в проекте объекта капитального строительства либо в завершеном строительстве объекта капитального строительства. Недостатком такой модели деятельности применительно к вопросам техносферной безопасности является необходимость последующего изучения поведения (функционирования) сложенного нового целого (объекта капитального строительства) в разных условиях жизнедеятельности — в разных срезах техносферной безопасности.

В контексте механической (конструктивной) безопасности задача изучения поведения сложенного нового целого (объекта капитального строительства) решается моделированием его устойчивости при разных механических воздействиях (нагрузках, статических и динамических). Для производства такого моделирования созданы научно-обоснованные и компьютеризированные расчетно-сценарные модели, например широко известный программный комплекс «Лира» [9].

Вместе с тем, компьютерное расчетно-сценарное моделирование объектов капитального строительства позволяет выявлять различные критические нагрузки, но не наделено возможностью принятия решений по критериям эффективности, результативности, целесообразности, полезности, а также по более высоким критериям соотношения пользы и вреда, в том числе в коннотации допустимых и недопусти-

мых общественных рисков в разных обстоятельствах жизнедеятельности.

Для преодоления этой проблемной ситуации по необходимости учета допустимых и недопустимых общественных рисков используется процедура общественных слушаний, в критериях производства которой отсутствуют прозрачные и объективные показатели (их значения), характеризующие соотношение пользы и вреда для конкретной части общества, каждый из участников общественных слушаний вынужден использовать собственные критерии для оценки ситуации и принятия положительного либо отрицательного решения (которые в рамках общественных слушаний могут как оглашаться, так и не оглашаться), что не делает процедуру общественных слушаний объективной и прозрачной.

При этом в случае наступления события, сопряженного с общественно опасным вредом, например с гибелью человека в случае обрушения части здания (как в случае с обрушением части кровли развлекательного комплекса «Трансвааль-парк»), поиск лица, виновного в гибели человека, становится затруднительным. В такой ситуации наиболее простым вариантом решения является применение статьи 26 Уголовного кодекса Российской Федерации³ (преступление, совершенное по неосторожности), т.е. с нарушением необходимых требований безопасности, которые определяются не только техническим расчетом, но и организационными мерами, важнейшей из которых является правило конструктивной безопасности: «Нагрузки на конструктив здания (сооружения, технологической установки) в процессе эксплуатации не должны превышать максимально-допустимых нагрузок». Данное правило в коннотации современного технического регулирования является обязательным и минимально необходимым требованием конструктивной механической безопасности.

Следует полагать, что все допустимые нагрузки на конструктив здания развлекательного комплекса «Трансвааль-парк» были изложены в проектной документации, в том числе и на кровлю здания. Представляется, что главной причиной той трагедии, по всей видимости, стала ошибка эксплуатации — неприменение обязательного минимального необходимого требования конструктивной механической безопасности — «нагрузки на конструктив здания (сооружения, технологической установки) в процессе эксплуатации не должны превышать максимально-допустимых нагрузок», — что могло привести к неучету дополнительной (превышающая стандартную расчетную) снеговой нагрузки на кровлю, которая возникла в связи с нестандартными погодными условиями.

Порядок регулирования градостроительной деятельности в тот период, как и сегодня, не предусматривает разработку и индивидуальное нормативное закрепление в проектной документации либо в индивидуальном нормативном документе обязательного требования (требований) конструктивной механической безопасности, которые должны быть в обязательном порядке исполнены на стадии разработки рабочей документации и в процессе эксплуатации.

Исходя из этой логики, обвинения в адрес главного конструктора и руководителя экспертной организации, производившей экспертизу проектной документации на данное здание, представляются странными (они не должны были обеспечивать разработку и нормативное закрепление обязательного и минимально необходимого требования конструктивной механической безопасности), а их амнистирование и прекращение уголовного преследования — закономерными.

При этом, квалификация вины ответственных исполнителей организаций по разработке рабочей документации, организаций по производству строительно-монтажных работ и службы эксплуатации объекта в гибели людей в связи с нарушением обязательного требования конструктивной механической безопасности не усматривается, поскольку этот критерий не был установлен в проектной документации (на стадии «П») и не зафиксирован в заключении по результатам государственной экспертизы проектной документации.

Таким образом, гибель людей в результате обрушения части кровли является неопровержимым фактом, а неосторожное поведение ответственных исполнителей — недоказанным. Такое регулирование следует признать несовершенным и требующим скорейшего изменения в общественно полезных целях.

Таким искомым, более совершенным регулированием в настоящее время является риск-ориентированное техническое регулирование, введенное в широкий деловой оборот вступлением в действие Федерального закона «О техническом регулировании»⁴.

Попробуем разобраться в истоках этого нового риск-ориентированного регулирования.

Методологическая и методическая основы перехода на риск-модель технического регулирования начали активно разрабатываться более 70 лет назад с началом организации целенаправленной работы по созданию противопожарной науки и подготовки кадров для пожарного дела.

Как полагают авторы, началом перехода на риск-ориентированную модель организации КНД в области обеспечения пожарной безопасности следует считать организацию научных исследований в об-

³ Уголовный кодекс Российской Федерации (с изменениями от 30 декабря 2020 г.) : Федеральный закон от 13 июня 1996 г. № 63-ФЗ; принят Государственной Думой 24 мая 1996 г.; одобрен Советом Федерации 5 июня 1996 г.

⁴ О техническом регулировании (в редакции, действующей с 1 января 2021 г.) : Федеральный закон от 27 декабря 2002 № 184-ФЗ; принят Государственной Думой 15 декабря 2002 г.; одобрен Советом Федерации 18 декабря 2002 г.

ласти обеспечения пожарной безопасности во вновь созданном в 1937 г. на 25-м километре автодороги «Москва – Нижний Новгород» Центральном научно-исследовательском институте противопожарной обороны (ЦНИИПО НКВД СССР, ныне — Всероссийский НИИПО МЧС России) и организацию подготовки кадров по противопожарной специальности: а) пожарных техников с 5 октября 1906 г. на курсах пожарных техников при Министерстве внутренних дел Российской Империи в г. Санкт-Петербурге; б) пожарных инженеров с 11 сентября 1933 г. на санитарно-техническом факультете Ленинградского института инженеров коммунального строительства (ЛИКС, в Российской Империи — Институт гражданских инженеров, в настоящее время — Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет).

Однако, несмотря на уже сравнительно длинный путь в более чем 70 лет, переход на новую риск-ориентированную модель администрирования пока еще представляет собой существенную, по сути, экзистенциальную, общественную проблему.

Авторы полагают, что еще одной «высшей» причиной, сдерживающей общественное развитие, является необходимость трансформации традиционалистского консервативного административного управления, во многом опирающегося на массовое сознание (питаемое страхами неведения), сформированное не менее 4000 лет назад, на основе тотального применения метода административного подавления, скопированного с успешного метода силового/вооруженного подавления противника, который привнесли в государственное управление успешные военачальники⁵.

Следует указать, что пользу от применения методов силового/вооруженного подавления и административного подавления для государственного управления трудно переоценить, особенно в предыдущие периоды общественного развития, а также в современных обстоятельствах вооруженных конфликтов и силовых действий со стороны антигосударственных формирований, которые пока, к сожалению, еще имеют место в современной, во многом мирной жизни.

При этом следует отметить, что применение этих методов уже имеет не тотальный, а локальный и фрагментарный характер. Из этого следует, что основное предназначение методов силового, в том числе силового административного подавления, — это противодействие силовому давлению на общество со стороны антигосударственных формирований внутри страны и силовых действий извне в целях защиты национальных интересов и приоритетов, т.е. по отношению к непримиримому и опасному противнику.

Также представляется полезным указать, что для обеспечения общественной стабильности, консолида-

ции и развития в мирное время и формирования единого целостного общественного созидательного сознания формальные общественные лидеры с древних времен использовали самые высокие общественные ориентиры, создавая тем самым общество союзников.

Так, для жизнеобеспечения одного из самых первых известных нам больших государственных образований — Вавилонской империи царь Хаммурапи (1792–1750 гг. до н.э.), а как полагают исследователи, и его предшественники (о чем свидетельствуют артефакты — информация на глиняных табличках, изготовленных в древневавилонский период⁶), взял себе образ малого бога Справедливости и закрепил в обществе «справедливый» порядок, понятный современникам, который в наши дни именуется Законами царя Хаммурапи (далее — ЗХ), в преамбуле которых сформулированы высокие смыслы: «силой Бога», «ради благодетельствования людей», «чтобы справедливость в стране была явлена», «чтобы уничтожить преступников и злых», «чтобы сильный слабого не притеснял» [10, с. 167–190].

При этом, как отмечает автор перевода ЗХ В.А. Якобсон, в своем автореферате диссертации на соискание ученой степени доктора исторических наук [11, с. 7] в качестве положения, вынесенного на защиту, что в ЗХ впервые сформулирована идеология большого централизованного государства — идеология империи [11, с. 10, 11], что подтверждается объемной и величественной преамбулой к правилам. Со своей стороны отметим, что, как показала практика последующей жизни, империя — это прежде всего единый порядок для всех (как форма существования), что означает необходимость закрепления в общественном сознании неоспоримого превосходства закона над каждым. С учетом вышесказанного, нам становится более понятной жестокость меры, используемая в ЗХ к нарушителям закона в качестве санкции, а именно [10]:

«§1. Если человек обвинил (другого) человека и возвел на него обвинение в убийстве, но не уличил его, обвинитель его должен быть убит.

§3. Если человек в судебном процессе для свидетельствования о преступлении выступил, но слова сказанного не подтвердил, если процесс этот о жизни, человек этот должен быть убит.

§6. Если человек имущество бога или дворца украд, человек этот должен быть убит, и тот, кто украденное из рук его получил, должен быть убит».

Здесь же [11, с. 7] автор перевода ЗХ В.А. Якобсон отмечает, что, если в основе имперской идеологии лежат только экономические потребности (получения прибавочного продукта), то такая идеология в конечном счете приводит к развитию общественно вредных реакционных теорий типа Третьего рейха и т.п., чем отсылает нас к высоким смыслам, сформу-

⁵ *Ферапонтов М.* Последний царь Шумера. URL: <https://warspot.ru/11078-posledniy-tsar-shumera> (дата обращения: 20.12.2020).

⁶ Судебник царя Ур-Намму, датированный около 2100 г. до н.э.

лированным в преамбуле ЗХ, о которых мы уже здесь говорили.

Опираясь на преамбулу ЗХ, можно сравнительно легко сформулировать цели и ориентиры социального нормирования, которые использовались с древних времен: общественное благо, защита жизни, защита от обмана, равенство, справедливость, неотвратимость наказания, сила закона. Представляется, что эти ориентиры не потеряли актуальность и сегодня, что подтверждается словами и смыслами основного закона — Конституции Российской Федерации.

Таким образом, можно констатировать, что цели обеспечения общественных стабильности и развития пока остаются неизменными, а вот методы достижения указанных целей должны соответствовать особенностям общественного развития. Так, введение новой риск-ориентированной парадигмы технического регулирования в Докладе Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии 2003 г. определено как реформа технического регулирования в целях создания благоприятных условий хозяйствования в рыночной экономике, создание нового порядка формирования системы обязательных требований, оценки и подтверждения соответствия, процедур контроля и надзора, аккредитации и стандартизации [12].

В [12] также определены векторы новой системы обязательных требований:

- перевод системы технических требований на правовые ориентиры;
- минимизация технических требований на основе точного определения целей технической защиты (только защита жизни и здоровья людей, имущества, окружающей среды и предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей);
- добровольность стандартов — стандарты должны способствовать выполнению обязательных требований, а не подменять их;
- единство методического обеспечения (необходимость принятия постановления Правительства Российской Федерации «О правилах и методах исследований (испытаний) и измерений, а также правилах отбора образцов для проведения исследований (испытаний)»);
- отмена прежнего и формирование нового порядка обязательного подтверждения соответствия;
- запрет контрольно-надзорным органам разрабатывать и утверждать обязательные технические требования (принцип недопустимости совмещения полномочий по государственному контролю (надзору) и сертификации);
- проверка обязательных требований только на стадии оборота продукции;
- исключение нескольких систем подтверждения соответствия и контроля-надзора за одними и теми же обязательными требованиями.

В [12] также указано, что эта реформа должна быть управляема, т.е. иметь четкую программу реализации, включая административную часть реформы и широкую информационную кампанию, а также подробные отчеты по реализации.

В качестве одного из самых важных, по нашему мнению, вопросов управления реформой технического регулирования в [12] в качестве завершающей меры указано: «Разработать предложения по подготовке и аттестации экспертов в области технического регулирования».

Изучение периода реформы технического регулирования с 2003 по 2020 годы показало, что все поставленные в [12] задачи вроде бы выполнены, но выполнены, прежде всего, по форме, а суть регулирования (технические решения в качестве обязательных требований) осталась прежняя.

Представляется, что для жизнеобеспечения современного государства одним из самых важных является государственный институт экспертизы технического регулирования, включая институт аттестации экспертов технического регулирования, созданием которого пока никто толком не занимался, если не считать, в самом грубом приближении, усилия по созданию института государственной экспертизы проектной документации как института государственного регулирования и института независимой экспертизы в области пожарной безопасности (аудита пожарной безопасности).

Такая поверхностная реформа по легкому изменению названия и/или слов в предмете деятельности, по сути, привела к обратному процессу — мимикрии типовой модели КНД под визуальным процессом реформы КНД.

Мимикрии типовой модели КНД также способствует резкий рост все новых и новых технических решений безопасности, обусловленный ускорением социокультурных процессов, которые воспринимаются в рамках типовой модели КНД только в качестве обязательных требований безопасности, что побуждает резкий лавинообразный рост числа «необходимых» согласований отступлений от уже включенных в стандарты технических решений и новых, еще не включенных в стандарты технических решений, для чего создается административная процедура согласований специальных технических условий (СТУ), которая к настоящему времени становится основной для КНД по типовой модели. При этом основной деятельностью для КНД по риск-ориентированной модели является проверка соблюдения порядка разработки, утверждения, применения и исполнения обязательных требований безопасности в соответствии с Федеральным законом № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [ч. 1 ст. 1].

Таким образом, к настоящему времени сформировался методологический и нормативно-правовой конфликт в ориентирах профессиональной КНД в области обеспечения пожарной безопасности на осно-

ве СТУ. Так, в соответствии с Федеральным законом «О стандартизации в Российской Федерации» и Федеральным законом «О техническом регулировании» стандартизированные решения (решения СНИП, СП, ГОСТ, РД и других нормативных технических документов) имеют правовой статус добровольного применения, таким образом, факт неприменения таких документов не может оцениваться как отступление от требований федерального законодательства, равно как и не включение новых технических решений в такие стандарты, что и зафиксировано в ч. 4 ст. 16.1 Федерального закона «О техническом регулировании». Такое правовое регулирование исключает из смысловой основы КНД странный факт согласования отступления от мер добровольного применения и тем более возможность отступлений от закона в форме СТУ.

Неоправданно долгое сохранение типовой модели КНД в условиях нормативно-правовой неопределенности естественным образом привело к появлению многочисленных дополнительных административных согласующих процедур, по смыслу как две капли похожих на процедуру СТУ, таких как согласование паспорта безопасности, расчетов пожарных рисков, плана пожаротушения, комплекса инженерно-технических и организационных мероприятий и др., применение которых не могло дать положительного результата для реформы КНД, и, как следствие, не дало (не снизило уровень коррупции, не повысило уровень защиты людей). Однако такая активность привела к удалению недобросовестных участников регулирования отношений и связанного с ним бизнеса в области технической безопасности от ответственности за принимаемые решения, что создало дополнительный административный барьер для ведения всех форм хозяйственной деятельности, не связанной с деятельностью в области технической безопасности.

Такого рода административные «шалости» со стороны КНД уже сравнительно давно воспринимаются профессиональным сообществом как явный способ демонстрации полной свободы в исполнении установленного порядка в ущерб охраняемым этим порядком ценностям.

Продолжение этой тенденции, как полагают авторы, приведет только к ухудшению ситуации с исполнением реформы технического регулирования и возрастанию общественной напряженности. Такой тренд определен логической конструкцией типовой модели КНД, которая при сохранении темпов индустриализации и урбанизации может только повышать общественную напряженность, но не позволяет ее снижать. Попробуем пояснить эту мысль.

Логическая формальная основа типовой модели в теории выглядит примерно так: чем больше разных мер, тем выше вероятность, что они принесут желаемый результат. А в реальности, по-другому: чем больше неадресных (нецелевых) мер, тем больше только затраты, а результативность, как правило, не повышается. Это похоже на активную стрельбу

по комару, которого не видно. Перед нами статика ситуации, а в условиях высокой динамики индустриализации, урбанизации и обособления отдельных мер безопасности до уровня самостоятельных направлений эффективность типовой модели резко снижается, практически до нуля, по причине неукротимого роста количества мер пожарной безопасности при слабом понимании их реального предназначения и результативности. Стрельба по комару идет уже из разных видов оружия, но комара все еще не видно. Даже если случится на удачу попасть в одного комара, то пользы это не принесет, поскольку комаров может оказаться много.

Особое значение эта проблемная ситуация имеет для представителей лиц, регулирующих отношения (ЛРО) (к которым в области обеспечения пожарной безопасности можно отнести должностных лиц контрольно-надзорной деятельности, прокуратуры, следственного комитета, суда, уполномоченных на высший государственный контроль, руководителей и исполнителей всех уровней), в основе предмета деятельности которых лежит квалификация объекта правонарушения (преступления), нарушения права, произвести которую без идентификации обязательных требований пожарной безопасности на основе оценок пожарных рисков (в целях формирования доказательств) невозможно, а в организации деятельности по типовой модели квалификация объекта правонарушения (преступления) на основе оценок пожарных рисков не предусмотрена информационной конструкцией.

При этом введение в информационную конструкцию типовой модели оценок пожарных рисков в качестве инструмента квалификации объекта правонарушения (преступления) приводит к автоматическому разрушению типовой модели, от чего старательно защищаются ее бенефициары. К бенефициарам типовой модели можно отнести: некоторых представителей КНД, недобросовестных производителей товаров и услуг в области безопасности, а также всех специалистов, подготовленных по типовой модели КНД. Для таких лиц, принимающих решения (ЛПР), введение в действие Федерального закона «О техническом регулировании», предписывающего применять новую риск-ориентированную модель обеспечения технической безопасности в качестве обязательной, создало экзистенциальный перекресток: либо менять свое собственное профессиональное сознание (и соразмерно менять свою деятельность), либо, в лучшем случае, делать вид, что ничего не происходит, а в худшем — создавать искусственные препятствия для реализации реформы технического регулирования. Для большинства ЛПР, подготовленных под типовую модель, которая закреплена в общественном сознании многолетним опытом, экзистенциальный перекресток превратился в банальный профессиональный тупик, из которого виден только один выход — за границы профессиональной деятельности. Осознание профес-

сионального тупика лицами, обладающими властью, делает их опасными для общества и непредсказуемыми для партнеров, что создает почву для интереса специальных органов.

В рамках организации проверочной деятельности по типовой модели определение перечня технических решений пожарной безопасности, которыми должен быть обеспечен проверяемый объект защиты, в полной мере лежит исключительно на проверяющем. Все так называемые «обязательные» требования к проверяемой деятельности формулирует исключительно инспектор, эксперт, государственный чиновник. Такой подход был нормативно закреплен в ст. 1 Федерального закона «О пожарной безопасности»⁷ до внесения в него изменений в 2017 г., а именно: «требования пожарной безопасности — специальные условия социального и (или) технического характера, установленные в целях обеспечения пожарной безопасности законодательством Российской Федерации, нормативными документами или **уполномоченным государственным органом**».

Следует отметить, что нормативные изменения, внесенные в этот Федеральный закон по исключению слов «или уполномоченным государственным органом», были осуществлены только в 2017 г. (со значительным опозданием!) и пока не привели к изменению характера КНД с типовой на риск-модель.

Изучение типовой модели КНД показало следующие особенности:

1) типовая модель дает максимальную свободу должностному лицу КНД, которая в критериях оценки уровня коррупциогенности нормативно-правовых актов именуется как чрезмерно широкая диспозитивность, а в бытовых категориях — как вседозволенность;

2) полная самостоятельность в принятии решений обязывает должностное лицо КНД нести персональную ответственность за принимаемое решение, в том числе в категориях Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях (КоАП)⁸ и УК РФ (и, возможно, в категориях высокой морали и нравственности), что теоретически должно компенсировать возможный вред от чрезмерно широкой диспозитивности;

3) как показывает практика, чрезмерно широкая диспозитивность в рамках типовой модели используется как средство формирования жесткой нормативной базы под влиянием недобросовестных производителей товаров и услуг в сфере безопасности;

4) недобросовестные производители товаров и услуг создают с представителями КНД своеобраз-

ные консорциумы, представителям которых вполне комфортно принимать решения в отношении третьих лиц, но не нести никакой ответственности за принимаемые решения.

Авторы полагают, что в настоящее время именно такие консорциумы во многом определяют замедленные темпы реформ ТР и КНД и малозаметные результаты этих реформ.

Таким образом, можно высказать предположение, что сама КНД, организованная по типовой модели, стала естественным административным барьером для перевода КНД на риск-модель и мощным источником избыточной и недопустимой в современных геополитических условиях социальной напряженности. Сложился парадокс, который в скором времени может перерасти в организационный коллапс: нельзя разрушить старый дом, если не построен новый — новый дом нельзя построить на старом месте, поскольку места для него еще нет.

Выводы

По результатам проведенного исследования по проблеме актуализации социального регулирования в техносфере на примере пожарной безопасности были сделаны следующие выводы:

1) стандартизация технического решения, обеспечивающая резкое возрастание объемов его производства, сильно снижает затраты на производство, что значительно повышает возможность потребления этого технического решения за счет снижения потребительской цены. Таким образом, стандартизация технического решения, повышающего способности человека сопротивляться опасным для него факторам пожара, делает его более доступным для потребителя, что в целом должно в безусловном порядке повышать общую общественную пожарную безопасность. Стимулирование производства и потребления стандартизированного решения обеспечивается за счет его нормирования в качестве обязательного требования;

2) стандартизация технического решения, приводящая к резкому повышению его потребления, также резко снижает гибкость (вариативность) использования другого, альтернативного, аналогичного либо принципиально иного технического решения, обладающего лучшими показателями результативности и/или эффективности в конкретной проблемной ситуации. Таким образом, нормирование технических решений также снижает уровень защищенности и повышает затраты в ситуациях, для которых стандартизированные технические решения не предназначены либо проигрывают другим решениям по показателям результативности и/или эффективности;

3) для преодоления показанной выше методологической дихотомии стандартизации (реализуемой путем нормирования технических решений) необходимо резкое расширение стандартизируемых решений, что будет способствовать их потреблению и по-

⁷ О пожарной безопасности (с изменениями на 22 декабря 2020 года) : Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ; принят Государственной Думой 18 ноября 1994 г.

⁸ Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях (с изменениями на 30 декабря 2020 г.) (редакция, действующая с 28 января 2021 года) : Федеральный закон от 30 декабря 2001 г. № 195-ФЗ; принят Государственной Думой 20 декабря 2001 г.; утвержден Советом Федерации 26 декабря 2001 г.

вышению общего (условного) уровня защищенности от пожаров;

4) резкий рост нормируемых технических решений в качестве обязательных требований повышает не только условный уровень защищенности от пожаров, но и общий уровень затрат на меры по обеспечению пожарной безопасности;

5) в целом для экономики государства такой подход, на первый взгляд, не представляется проблемным, поскольку основан на вполне достоверном предположении, что рост экономики должен приводить к повышению уровня общественной защищенности от пожаров;

6) однако проверить достоверность этого утверждения на общегосударственном уровне не представляется возможным, поскольку реализованный на практике общегосударственный и международный статистический пожарный учет включает в себя только определение вреда от пожаров (который причиняется обществу с учетом применения стандартизированных противопожарных технических решений) и не учитывает затраты на разработку и практическую реализацию стандартизированных технических решений по обеспечению пожарной безопасности;

7) отсутствие возможности производства проверки эффективности (полезности) применяемой на практике стандартизации технических решений в области пожарной и другой техносферной безопасности следует понимать и трактовать как отсутствие надлежащего государственного и общественного контроля за этой областью жизнедеятельности;

8) отсутствие прозрачного государственного и общественного контроля за областью техносферной (пожарной) безопасности приводит к созданию в этой области теневого регулирования, основу которого составляют условия включения либо исключения тех либо иных технических решений в технические нормы обязательного применения;

9) отсутствию прозрачности государственного и общественного контроля также способствует значительное увеличение объема контролируемых технических решений, выступающих в качестве обязательных требований безопасности, который (объем) уже значительно и давно превысил физиологические возможности человека по его запоминанию и своевременному извлечению из памяти;

10) отсутствию прозрачности государственного и общественного контроля также способствует усложнение самих технических решений, что не позволяет неподготовленным применителям понять суть и содержание этих технических решений, а также спрогнозировать результаты их применения на бытовом уровне метода аналогий;

11) серьезное усложнение технических решений в совокупности со значительным увеличением количества самих технических решений создает такие условия неопределенности для лиц, принимающих решения, преодолеть которые невозможно исходя

из профессиональной культуры, формируемой на основе репродуктивного подхода, — на основе естественного неторопливого отбора успешных решений и обучения этим решениям государственных и общественных контролеров;

12) описанная выше проблемная ситуация требует применения иного, отличного от классического репродуктивного общекультурного способа социального регулирования в техносфере;

13) в целом следует констатировать, что высокая социокультурная динамика, обусловленная высокой динамикой техносферы, включая процессы урбанизации, привела к необходимости отказа от типовой модели организации контроля за техносферой, которая больше не справляется со своей задачей, в пользу риск-ориентированной модели;

14) типовую модель организации контроля за техносферой можно охарактеризовать как модель случайного набора технических решений, которым присвоен правовой статус обязательных требований. В ее основе лежит принцип регулирования (управления) физических объектов, что с большой долей условности можно понимать в коннотации регулирования социальных отношений;

15) основу риск-ориентированной модели организации контроля за техносферой составляют оценки рисков причинения вреда охраняемых общественных ценностей и сопоставления этих оценок с критериями недопустимых рисков, что в полной мере соответствует смыслу регулирования социальных отношений;

16) в сфере обеспечения пожарной безопасности недопустимые пожарные риски установлены в ст. 219 Уголовного кодекса Российской Федерации;

17) методологическое несоответствие между естественной общественной потребностью в регулировании социальных отношений и долговременным применением для этого метода регулирования физических объектов (типовой модели) привели к накоплению опасного общественного вреда, определяющего общественную потребность по переводу государственного регулирования отношений в техносфере на другую, более совершенную методическую основу;

18) в Российской Федерации в качестве новой методологической основы регулирования отношений в техносфере установлена риск-ориентированная модель, которая нормативно закреплена в Федеральном законе «О техническом регулировании» и обязательна к применению всеми участниками регулируемых отношений;

19) в целях обеспечения всех участников регулируемых отношений по риск-ориентированной модели доброкачественной информацией следует произвести обучение экспертов по техническому регулированию. Начать следует с переподготовки специалистов, подготовленных под типовую модель.

(Продолжение следует)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Maslow A.H.* A theory of human motivation // *Psychological Review*. 1943. No. 50. Pp. 370–396. URL: <http://psychclassics.yorku.ca/Maslow/motivation.htm> (дата обращения 13.11.2020)
2. *Бердяев А.Н.* Философия неравенства / сост. и отв. ред. Платонов О.А. М. : Институт русской цивилизации, 2012. 624 с.
3. *Кошмаров Ю.А.* Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учеб. пос. М. : Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
4. *Брушлинский Н.Н., Козлачков В.И., Семиков В.Л. и др.* Игровое моделирование и пожарная безопасность : учеб. пос. / под ред. Н.Н. Брушлинского. М. : Стройиздат, 1993. 271 с.
5. *Козлачков В.И., Хохлова А.Ю.* Экспресс-оценка пожарных рисков при обследовании зданий и сооружений. М. : Академия ГПС МЧС России, 2001. 200 с. Деп. в ВИНТИ РАН 08.11.2001. № 2323-В2001.
6. *Козлачков В.И., Андреев А.О.* Экспресс-оценка угрозы людям при использовании первичных средств пожаротушения. М. : ВИНТИ, 2001. 257 с. Деп. в ВИНТИ РАН 06.12.2001 № 2532-В2001.
7. *Козлачков В.И., Лобаев И.А., Алистанов С.С.* Экспресс-оценка пожарных рисков для конструкций зданий // Системы безопасности — СБ-2010 международного форума информатизации : мат. XIX междунар. науч.-практ. конф., 28 октября 2010, Москва. М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. С. 188–189.
8. *Ягодка Е.А., Горячева Е.В.* Экспресс-оценка воздействия лучистого теплового потока пожара с применением гипер-формул // Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности : сб. тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. 18–19 октября 2018 г., Москва. М. : Академия ГПС МЧС России, 2018. С. 234–239. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36843464&pf=1>
9. *Городецкий А.С.* Многофункциональный программный комплекс для проектирования и расчета строительных конструкций различного назначения методом конечных элементов «ПК Лира», первый выпуск 1963 год. URL: <https://www.liraland.ru/company/> (дата обращения: 20.12.2020).
10. История Древнего Востока. Тексты и документы : учеб. пос. / под ред. В.И. Кузицина. М. : Высшая школа, 2002. 719 с. URL: <http://grachev62.narod.ru/hrest/chapt02.htm> (дата обращения 20.12.2020).
11. *Якобсон В.А.* Законы Хаммурапи как источник по истории древней Месопотамии : автореферат дис. ... д-ра ист. наук. Ленинград, 1986. 41 с.
12. О ходе реализации Федерального закона «О техническом регулировании» // Доклад Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии. 2003.

*Поступила 03.11.2020, после доработки 18.12.2020; принята к публикации 30.12.2020
Received November 3, 2020; Received in revised form December 18, 2020; Accepted December 30, 2020*

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 чрезвычайных ситуаций 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 чрезвычайных ситуаций и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 351580; ORCID: 0000-0001-5558-5876; e-mail: vkorbko@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: vkorbko@mail.ru

УДК 614.841/ 614.838

Электропроводка во взрывоопасных зонах

© А.С. Харламенков ✉

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

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены общие принципы выбора проводов и кабелей для взрывоопасных зон. Проведен анализ действующих нормативных документов, определяющих порядок применения кабельных изделий во взрывоопасных средах. Представлена информация о безопасных способах монтажа электропроводки. Показаны примеры марок кабельных изделий, отвечающих требованиям норм их прокладки во взрывоопасных зонах. Даны разъяснения о порядке выбора нагревательных кабелей систем кабельного подогрева в местах присутствия взрывоопасных смесей.

Ключевые слова: источник зажигания; короткое замыкание; джоулево тепло; легковоспламеняющиеся жидкости; горючие пыли; взрывоопасные смеси

Для цитирования: Харламенков А.С. Электропроводка во взрывоопасных зонах // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 1. С. 86–90.

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

Electrical wiring in hazardous areas

© Aleksandr S. Kharlamenkov ✉

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

ABSTRACT

The article addresses the general principles that govern the selection of wires and cables for hazardous areas. The analysis of effective regulatory documents, governing the use of cable products in hazardous environments is performed. The information on safe wiring methods is provided. Examples of cable grades, that comply with the wiring standards applicable to fire hazardous areas, are provided, as well. Clarifications on the procedure for selecting heating cables for cable heating systems in the areas, accommodating explosive mixtures, are offered.

Keywords: ignition source; short circuit; Joule heat; highly flammable liquids; combustible dusts; explosive mixtures

For citation: Kharlamenkov A.S. Electrical wiring in hazardous areas. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(1):86-90 (rus.).

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



ВОПРОС:

Предварительные статистические данные о пожарах в РФ за 2020 г.¹ показывают, что количество пожаров по причине нарушения устройства и эксплуатации электрооборудования практически не изменилось и составляет более 30 %. Данное обстоятельство требует разработки действенных технических и организационных мер по обеспечению пожарной безопасности электроустановок зданий и сооружений. Это касается и объектов с пожаровзрывоопасными производствами, где появ-

ление источника зажигания электрического характера крайне опасно.

В стандартном треугольнике горения кабельные изделия могут выступать не только в качестве источника зажигания, но и в качестве горючей нагрузки. Поэтому изоляция и оболочка современных кабелей выполняются из материалов, не распространяющих горение («нг») и/или имеющих устойчивость к воздействию пламени (огнестойкие — «FR»). Тип исполнения кабельного изделия, определяющий его пожарную безопасность, выбирается по ГОСТ 31565–2012². На сегодняшний день представлена

¹ Онлайн-конференция, посвященная ситуации с пожарами в России // Международный мультимедийный пресс-центр МИА «Россия сегодня». URL: <http://pressmia.ru/pressclub/20210115/953060742.html> (дата обращения: 20 декабря 2020 г.).

² ГОСТ 31565–2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 24 мая 2012 г. № 41); введен в действие 1 января 2014 г.

новая редакция данного стандарта, которая находится на этапе согласования с различными учебными и научными организациями. В новую редакцию ГОСТ 31565–2012 добавлены преимущественные области применения различных типов кабельных изделий с указанием классов функциональной пожарной опасности зданий. Эти нововведения должны упростить процесс выбора специалистами проводов и кабелей, соответствующих требованиям пожарной безопасности.

Кабельные изделия также способны участвовать в переносе горючих веществ из одного помещения в другое. В местах с возможным образованием взрывоопасных смесей паров горючих газов или легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) с воздухом всегда рассматривается вероятность попадания смеси в соседние помещения через внутреннюю пустоту оболочки кабелей.

Во взрывоопасных помещениях имеются и ограничения по способам монтажа электропроводки, которые указаны в различных нормативных и ведомственных документах. Поэтому актуально выполнить обобщение данных по безопасным вариантам прокладки кабельных изделий на объектах с применением горючих газов и ЛВЖ.

Какие кабельные изделия следует применять при выполнении электромонтажных работ во взрывоопасных зонах?

ОТВЕТ

Основные требования к выбору и монтажу электропроводки во взрывоопасных зонах представлены в гл. 7.3 «Электроустановки во взрывоопасных зонах» Правил устройства электроустановок³ (далее – ПУЭ), ст. 82 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности⁴ (далее – № 123-ФЗ), п. 10 СП 423.1325800.2018⁵ (далее – СП 423) и п. 9 ГОСТ ИЕС 60079-14–2013⁶. Порядок применения силовых и контрольных кабелей для стационарной прокладки определяется положениями ГОСТ Р 58342–2019⁷.

³ Правила устройства электроустановок (ПУЭ): утверждены приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 8 июля 2002 г. № 204; введены в действие с 1 января 2003 г.

⁴ Федеральный закон Российской Федерации «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (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 июня 2008 г.

⁵ Электроустановки низковольтные зданий и сооружений. Правила проектирования во взрывоопасных зонах : (СП 423.1325800.2018) : введен в действие 25 июня 2019 г.

⁶ ГОСТ ИЕС 60079-14–2013. Взрывоопасные среды. Часть 14. Проектирование, выбор и монтаж электроустановок (с поправками) (в редакции от 1 июля 2019 г. : введен в действие 1 июля 2015 г.

⁷ ГОСТ Р 58342–2019. Кабели силовые и контрольные для применения в электроустановках во взрывоопасных средах. Общие технические условия : введен в действие 1 июля 2019 г.

Существует ряд ведомственных нормативных документов, определяющих типы кабельных изделий и способы их прокладки в зонах с наличием горючих газов и паров ЛВЖ, а также взвешенных горючих пылей и частиц. Одним из них является Инструкция по монтажу электрооборудования силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон (далее – И1.01.11)⁸, положения которой частично отражены в требованиях СП 423.

Согласно указанным выше нормативным документам, электроустановки, применяемые во взрывоопасных зонах, относятся к специальным. Они должны соответствовать классу зоны, а также категории и группе взрывоопасной смеси. Эта информация должна быть отражена в маркировке оборудования.

Во взрывоопасных зонах нормами рекомендуется выполнять открытую прокладку бронированных и небронированных кабелей. Допускается прокладка электропроводки в стальных трубах со стенкой определенной толщины, зависящей от сечения жил кабеля.

Прокладка кабельных изделий может быть выполнена по стенам и строительным конструкциям в коробах, на лотках, профилях, тросах и т.п., в зависимости от класса взрывоопасной зоны. Для зон, расположенных за наружными ограждающими конструкциями, прокладку кабелей следует выполнять на эстакадах, в частично закрытых кабельных галереях по кабельным конструкциям и т.п. Основные способы прокладки проводов и кабелей в зависимости от класса взрывоопасной зоны представлены в табл. 1.

Следует отметить, что прокладка кабелей в трубах должна выполняться в следующих исключительных случаях при монтаже:

- в зонах классов 1а, 1г (СП 423) или 0, 1 (И 1.01.11) групповых осветительных сетей (если нет взрывозащищенных светильников и ответвительных коробок, позволяющих вводить и разделявать бронированные кабели);
- вторичных цепей для оборудования и приборов (датчиков, газоанализаторов и т.п.), конструкция которых предусматривает только трубный ввод;
- коротких участков труб, где они выполняют функцию каналобразователя, например, при подводе электропроводки к оборудованию, установленному в удалении от стен и колонн в пределах одного помещения;
- электропроводки на технологических эстакадах, где небронированные кабели должны прокладываться только в стальных трубах и коробах;
- электропроводки в местах, где возможны механические повреждения (передвижение автотранспорта, механизмов и грузов, доступность для посторонних лиц), а кабели должны быть защищены по высоте на 2 м от уровня пола или земли и на 0,3 м в земле.

⁸ И 1.01-11. Инструкция по монтажу электрооборудования силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон : введена в действие 30 октября 2011 г.

Крепление стальных труб при открытой прокладке преимущественно выполняют скобами и хомутами с расстоянием между точками крепления не более 2,5 м [1]. Указанный шаг может быть увеличен для трубопроводов, находящихся над машинами, механизмами, транспортерами и другим вращающимся или движущимся оборудованием на расстоянии более 2,5 м.

В случае открытой прокладки электропроводки во взрывоопасных зонах должны применяться кабели, не распространяющие горение при групповой прокладке:

- «нг (А), (В), (С)» — для наружных установок;
- «нг (А), (В), (С)-LS», «нг (А), (В), (С)-HF» — в помещениях с присутствием людей.

Кабельные сети систем противоаварийной защиты (ПАЗ) и противопожарной защиты (СПЗ) во взрывоопасных зонах должны быть выполнены огнестойкими кабелями (нг(...)-FRLS, нг(...)-FRHF).

Во всех классах взрывоопасных зон (0, 1, 2, 20, 21, 22) по международным стандартам серии ГОСТ IEC 60079-

14-2013 следует применять кабели с медными жилами, а провода с алюминиевыми жилами могут использоваться с соединительными устройствами соответствующей конструкции и сечением жил не менее 16 мм². При этом, согласно СП 423, во взрывоопасных зонах классов 2б и зонах 22а, 22б, 22в допускается применение кабелей с алюминиевыми жилами.

Кабели, прокладываемые во взрывоопасных зонах, должны иметь резиновую, ПВХ или бумажную изоляцию в резиновой, ПВХ или металлической оболочке. Использование изоляции или оболочки из полиэтилена запрещено.

Технический циркуляр № 14/2006⁹ допускает применение во всех классах взрывоопасных зон кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (XLPE) и этиленпропиленовой резины (EPR) с индексом «нг» («нг-LS», «нг-HF») и оболочкой из аналогичного пластиката, ПВХ (PVC) или

⁹ Технический циркуляр № 14/2006. О применении кабелей из сшитого полиэтилена в кабельных сооружениях, в том числе во взрывоопасных зонах : введен в действие 16 октября 2006 г.

Таблица 1. Допустимые способы прокладки проводов и кабелей во взрывоопасных зонах

| Вид кабельного изделия | Способ прокладки ¹ | Классы взрывоопасных зон ² | | | | | | | | |
|--|---|---------------------------------------|----------------|---|----------------|---------------------------------------|---|----------------|---------------------------------------|--|
| | | Сети напряжением выше 1 кВ | | Силовые сети и вторичные цепи напряжением до 1 кВ | | | Осветительные сети напряжением до 380 В | | | |
| | | ПУЭ | И 1.01.11 | ПУЭ | И 1.01.11 | СП 423 | ПУЭ | И 1.01.11 | СП 423 | |
| Бронированные кабели | Открыто — по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях; в коробах, лотках, на тросах, кабельных и технологических эстакадах; в каналах; скрыто — в земле (траншеях), в блоках | В зонах любого класса ³ | | | | | | | | |
| Небронированные кабели в резиновой, поливинилхлоридной и металлической оболочках | Открыто — при отсутствии механических и химических воздействий; по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях; в лотках, на тросах | В-Іб, В-Іг; В-ІІа | 2 21 22 | В-Іб, В-Іг; В-ІІа | 2 21 22 | 2б, 2г; 22а, 22б, 22в, | В-Іа, В-Іб, В-Іг; В-ІІа | 2 21 22 | 2а, 2б, 2г; 22а, 22б, 22в | |
| | В пылеуплотненных каналах (например, покрытых асфальтом) или засыпанных песком | В-ІІ, В-ІІа | 20 21 22 | В-ІІ, В-ІІа | 20 21 22 | 21а, 21б, 21в; 22а, 22б, 22в | В-ІІ, В-ІІа | 20 21 22 | 21а, 21б, 21в; 22а, 22б, 22в | |
| | Открыто — в коробах | В-Іб, В-Іг | 2 | В-Іа, В-Іб, В-Іг | 1, 2 | 2а, 2б, 2г | В-Іа, В-Іб, В-Іг | 1, 2 | 2а, 2б, 2г | |
| | В стальных трубах | В зонах любого класса | | | | | | | | |
| | В герметичных металлокабелях ⁴ | — | — | — | — | 2б | — | — | 2б | |
| Изолированные провода | В стальных трубах | В зонах любого класса | | | | | | | | |

¹ Для искробезопасных цепей допускается прокладка электропроводки любым из перечисленных выше способов.

² Подробный разбор взаимосвязи классов взрывоопасных зон по представленным в табл. 1 нормативным документам дан в рубрике «Вопрос – Ответ» № 4 журнала за 2019 г. [2].

³ В зоне 0 преимущественно следует использовать трубную электропроводку. При беструбной прокладке следует учитывать условия эксплуатации электропроводки (возможные механические повреждения, температурные режимы окружающей среды и т.д.).

⁴ Прокладка проводов и кабелей в зонах 20, 21 и 22 с низким риском механического повреждения допускается в герметичных металлокабелях с оболочкой из поливинилхлоридного (ПВХ) пластиката, не распространяющего горения (нг).

резины. При использовании данных типов кабелей требуется иметь документальное подтверждение того, что его температура при расчетных нагрузках и возможных перегрузках не превышает допустимой (температура самовоспламенения взрывоопасной смеси), согласно п. 9.3.8 ГОСТ IEC 60079-14-2013.

Допустимые сечения жил кабелей для прокладки во взрывоопасных зонах по требованиям И 1.01.11 и СП 423 сведены в табл. 2.

Большинство марок кабелей, ранее не имеющих таких характеристик пожарной безопасности, как огне-

стойкость — FR, пониженное дымовыделение — LS, отсутствие галогенов при горении — HF, на сегодняшний день усовершенствованы до требуемых нормами уровней защиты. Например, монтажные кабели марок КМЖнг(A)-LS FRHF и МКЭШвнг(A)-FRHF заменили свои устаревшие аналоги КМЖ и МКЭШв. В табл. 3 приведены примеры марок современных кабелей, используемых для открытой прокладки во взрывоопасных средах. Допускается также применять и кабели иностранного производства, имеющие сертификат соответствия техническим регламентам РФ и/или Таможенного союза.

Таблица 2. Допустимые сечения жил кабелей во взрывоопасных зонах

| Вид электроустановки | Класс зоны | | | | |
|--|--|---|------------------|-----------------|---------------------|
| | И 1.01.11 | СП 423 | | И 1.01.11 | СП 423 |
| | 0 1 2 | 0 1а, 1г 2а, 2г 20а, 20б, 20в, 21а, 21б, 21в | | 2 20, 21, 22 | 2б 22а, 22б, 22в |
| | Площадь поперечного сечения жил, мм ² | | | | |
| | Медные жилы | | Алюминиевые жилы | | |
| Осветительные сети | 1,5 | | 2,5 | | |
| Силовые сети | 1,5 | | 2,5 | | |
| Вторичные цепи трансформаторов тока | 2,5 | | 4,0 | | |
| Цепи управления, сигнализации, измерения, блокировки | 1,0 | | 2,5 | | |
| Искробезопасные цепи | 0,5 | | — | | |

Таблица 3. Область применения наиболее распространенных кабелей для открытой прокладки по классам взрывоопасных зон согласно И 1.01.11

| Назначение сети | Рекомендуемые кабели для зон классов ¹ | | | |
|---|---|---|--|--|
| | 0 | 1, 2 | 20 | 21,22 |
| Силовые сети напряжением выше 1 кВ | ВБбШнг ВБбШнг-LS СБГ ПвВнг-LS ПвБВнг-LS | ВБбШнг ВБбШнг-LS СБГ ПвВнг-LS ПвБВнг-LS | АВБбШнг АВБбШнг-LS АСБГ ААБнгГ АПвБбШнг-LS | АВБбШнг АВБбШнг-LS АСБГ ААБнгГ АПвБбШнг-LS |
| Силовые сети напряжением до 1 кВ | ВБбШнг ВБбШвнг ВБбШнг-LS СБГ СРБГу ПвБбШнг(A)-LS ПБПнг-HF | ВБбШнг ВБбШнг-LS СБГ СРБГ ПвБбШнг(A)-LS | АВБбШнг АВБбШнг-LS АСБГ АВВГзнг ³ АВРГзнг АПвВнг(A)-LS | АВВГзнг АВРГзнг АСГ ААГ |
| Осветительные сети напряжением 380 В ² | ВВГзнг-LS ВРГзнг-LS | ВВГзнг-LS ВРГзнг-LS | АВВГзнг АВРГзнг АВГзнг | АВВГзнг АВРГзнг АВГзнг |
| Вторичные цепи напряжением до 380 В | КПБПнг-LS КВБВнг КРВБГ КВВБбШв КВБШвнг-LS | КВБВнг КРВБГ | АКВБВнг АКРВБГ | АКВВГзнг АКРВГзнг |

¹ Кабели, предназначенные для применения в зонах более высокого класса взрывоопасности, допускается применять в менее опасных зонах.

² Для осветительных групповых сетей применяются 5-жильные кабели.

³ Буква «з» в маркировке кабеля означает, что оболочка наложена с заполнением воздушных промежутков между жилами.

Основные требования к выбору и прокладке кабелей для опасных зон представлены в ст. 501–505 Национального электромонтажного кодекса (NEC: National Electrical Code) Национальной ассоциации противопожарной защиты США (National Fire Protection Association) NFPA 70¹⁰ и стандарте UL 2225-2013¹¹. Согласно этим документам, в местах с наличием взрывоопасных сред следует применять кабели типа MC-HL с гофрированной металлической оболочкой (броня), покрытой слоем ПВХ (Metal Clad-Hazardous Location cable – кабель в металлической оболочке для опасных зон). Для питания контрольно-измерительных приборов и цепей управления должны применяться кабели типа ITC-HL (Instrumentation Tray Cable), а также гибкие кабели типа TC-ER-HL для подключения к вибрирующему или подвижному оборудованию. Похожие требования по выбору и монтажу электропроводки имеются в нормативном документе C22.1 Канадского электротехнического кодекса (CEC) Канадской ассоциации по стандартизации (CSA)¹², но здесь предлагается использовать кабели типа TECK 90 и TECK-HL, в основном отличающиеся формой защитной металлической оболочки (брони) [3].

В проектно-эксплуатационной практике на различных объектах химической, нефтяной и газовой промышленности распространено применение систем кабельного подогрева трубопроводов, резервуаров, запорной арматуры с использованием нагревательных кабелей различных марок, например кабелей марок ГТГ, СГЛ, ВСК-Ф, АТМ1, АТЛ, АТЕ и др. Температура их поверхности может достигать значений, превышающих нижнюю границу самовоспламенения некоторых взрывоопасных смесей. Поэтому нагревательные кабели проходят полноценную сертификацию, аналогичную для взрывозащищенных машин, аппаратов и приборов, с проведением лабораторных испытаний и анализа их конструкции и свойств. Такие кабели должны иметь полноценную маркировку взрывозащиты, которая соответствует классу зоны, категории и группе взрывоопасных смесей согласно требованиям ст. 82 № 123-ФЗ, ГОСТ IEC 60079-14-2013 и Технического регламента Таможенного союза

¹⁰ National Fire Protection Association (NFPA). National Electrical Code. NFPA 70 // NFPA ed., 2017.

¹¹ UL 2225-2013. UL Standard for Safety for Cables and Cable-Fittings For Use In Hazardous (Classified) Locations, ed. 4, 2013.

¹² CSA C22.1. Canadian Electrical Code, Part I – Safety Standard for Electrical Installations // CSA. 25th ed., 2021.

(ТР ТС 012/2011)¹³. Маркировка наносится непосредственно на поверхность оболочки кабеля и обычно содержит информацию о возможности его применения как во взрывоопасных газовых средах, так и в зонах, опасных по воспламенению горючей пыли.

Таким образом, во взрывоопасных зонах следует отдавать предпочтение открытой прокладке небронированных или бронированных кабелей, не распространяющих горение с показателями пожарной безопасности LS, HF и FR, в зависимости от места их прокладки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трунковский Л.Е. Электрические сети промышленных предприятий : 2-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1991. 128 с.
2. Харламенков А.С. Новая классификация взрывоопасных зон // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2019. Т. 28. № 4. С. 92–94. URL: <https://www.fire-smi.ru/jour/article/view/775>
3. Keane B., Schwarz G., Thurnherr P. Cables and cable glands for hazardous locations // 2018 IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC). 2018. Vol. 42. 9 p. DOI: 10.1109/PCIC31437.2018.9080463

Материал поступил в редакцию 30.01.2021
Received January 30, 2021

Информация об авторе

ХАРЛАМЕНКОВ Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ 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 Emercom of Russia; Moscow, Russian Federation; ID RISC: 763967; e-mail: h_a_s@live.ru

¹³ ТР ТС 012/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах» (в ред. от 25 октября 2016 г.) : утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 825; введ. 15 февраля 2013 г. // Официальный сайт Комиссии таможенного союза www.tsouz.ru. 2011.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал «ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY» статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т.п. Авторы должны указать, к какому типу относится их статья:

- научно-теоретическая;
- научно-эмпирическая;
- аналитическая (обзорная);
- дискуссионная;
- рекламная.

Не допускается направлять в редакцию работы, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены через электронную редакцию по адресу info@fire-smi.ru.

Статья должна быть ясно и лаконично изложена и подписана всеми авторами (скан страницы с подписями). Основной текст статьи должен содержать в себе четкие, логически взаимосвязанные разделы. Все разделы должны начинаться приведенными ниже заголовками, выделенными полужирным начертанием. Для научной статьи традиционными являются следующие разделы:

- введение;
- материалы и методы (методология) — для научно-эмпирической статьи;
- теоретические основы (теория и расчеты) — для научно-теоретической статьи;
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (аналитической (обзорной), дискуссионной, рекламной) при условии четкого выделения разделов:

- введение;
- основная (аналитическая) часть;
- заключение (выводы).

Подробную информацию о содержании каждого из обозначенных выше разделов см. на сайте издательства www.fire-smi.ru.

Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть точными и лаконичными и в то же время достаточно информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустима транслитерация с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это касается также аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>).

Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, страну, индекс, город, название улицы, номер дома,

а также контактные телефоны и электронные адреса всех авторов; дать информацию о контактном лице. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

2.3.3. ORCID, Researcher ID, Scopus Author ID.

2.4. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторское резюме на английском языке в русскоязычном издании является для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- содержательным (должно отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т.е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать четко обозначенные подразделы Введение (Introduction), Цели и задачи (Aims and Purposes), Методы (Methods), Результаты (Results), Обсуждение (Discussion), Заключение (выводы) (Conclusions).

Результаты работы следует описывать предельно точно и информативно. При этом должны приводиться основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предположениями, 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 вверху флажок «Американская (для визы США)»; если автор цитируемой статьи имеет свой вариант транслитерации своей фамилии, следует использовать этот вариант);
- заглавие на английском языке — для статьи, транслитерация и перевод названия — для книги;
- название источника (журнала, сборника статей, материалов конференции и т.п.) в транслитерации и на английском языке (курсивом, через косую черту);
- выходные данные;
- указание на язык изложения материала в скобках (например, (in Russian)).

Например: D.N. Sokolov, L.P. Vogman, V.A. Zuykov. Microbiological spontaneous ignition. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 1, pp. 35-48 (in Russian) (Другие примеры см. www.fire-smi.ru).

3. Статьи, присланные не в полном объеме, на рассмотрение не принимаются.

4. В случае получения замечаний в ходе внутреннего рецензирования статьи авторы должны предоставить доработанный вариант текста в срок не более одного месяца с обязательным выделением цветом внесенных изменений, а также отдельно подготовить конкретные ответы-комментарии на все вопросы и замечания рецензента.

Несвоевременный, а также неадекватный ответ на замечания рецензентов и научных редакторов приводит к задержке публикации до исправления указанных недостатков. При игнорировании замечаний рецензентов и научных редакторов рукопись снимается с дальнейшего рассмотрения.

5. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати. Предпечатная подготовка статей оплачивается за счет средств подписчиков и третьих лиц, заинтересованных в публикации.

Редакция оставляет за собой право считать, что авторы, представившие рукопись для публикации в журнале «Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety», согласны с условиями публикации или отклонения рукописи, а также с правилами ее оформления!