

6-2024

FIRE SAFETY ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



*С Новым
Годом!*

Для тех, кто сделал
безопасность своей
профессией



УЧРЕДИТЕЛЬ и ИЗДАТЕЛЬ —

ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский
Московский государственный
строительный университет»

Адрес:

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

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

СМИ зарегистрировано Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых
коммуникаций — свидетельство
ПИ № ФС 77-79402 от 2 ноября 2020 г.
Префикс DOI: 10.22227

РЕДАКЦИЯ:

Выпускающий редактор **Дядичева А.А.**
Редактор **Корзухина Л.Б.**
Перевод на английский **Юденкова О.В.**
Корректор **Ермихина О.В.**
Дизайнер **Алейникова Ю.З.**

Адрес редакции:

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

Адрес для переписки:

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

E-mail: info@fire-smi.ru

https://www.fire-smi.ru

Журнал включен в перечень ведущих
рецензируемых научных журналов и изданий,
рекомендованных ВАК России для публикации
трудов соискателей ученых степеней,
в Реферативный журнал и базы данных
ВИНИТИ РАН, в базу данных Российского
индекса научного цитирования (РИНЦ),
в Справочно-библиографическую службу EBSCO.
Сведения о журнале ежегодно публикуются
в Международной справочной системе
по периодическим и продолжающимся изданиям
«Ulrich's Periodicals Directory». Переводные
версии статей журнала входят в Международный
реферативный журнал Chemical Abstracts.

Перепечатка материалов журнала
«Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion
Safety» только по согласованию с редакцией.
При цитировании ссылка не обязательна.
Авторы и рекламодатели несут ответственность
за содержание представленных в редакцию
материалов и публикацию их в открытой печати.
Мнение редакции не всегда совпадает
с мнением авторов опубликованных материалов.

Подписано в печать 25.12.2024.

Выход в свет 27.12.2024.

Формат 60 × 84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная. Цена свободная.

Распространяется по подписке.

Отпечатано в типографии

Издательства МИСИ – МГСУ

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

Фото для оформления журнала взяты с сайтов: www.ro.wikipedia.org,
www.krd.energo-e.ru

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

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

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

Калач А.В., д. х. н., профессор (Воронежский государственный технический универ-
ситет, Воронеж, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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)

Таранцев А.А., д. т. н., профессор (Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия)

Христов Б., д. т. н., профессор (Берлинский институт техники и экономики, Берлин,
Германия)

Челани А. (Миланский технический университет, Милан, Италия)

Чирик Р.М., д. т. н., профессор (Высшая техническая школа, Нови Сад, Сербия)

Шебеко Ю.Н., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (ВНИИПО МЧС России,
Балашиха Московской обл., Россия)

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF COMPLEX SAFETY

Н.Л. ПОЛЕТАЕВ
Взрывоопасность локального
изменения хода времени

5

N.L. POLETAEV
Explosion hazard
of time course local change

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

Н.И. КОНСТАНТИНОВА, А.В. ЗУБАНЬ,
Е.А. ПОЕДИНЦЕВ, О.В. КРИВОШАПКИНА
Пожарная опасность декоративных текстильных изделий
в помещениях общественных зданий и сооружений

14

N.I. KONSTANTINOVA, A.V. ZUBAN, E.A. POEDINTSEV,
O.V. KRIVOSHAPKINA
Fire hazard of decorative textiles in the premises
of public buildings and structures

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

С.Н. МАСАЕВ, В.А. ШНАЙДЕР
Расчет оптимального пути эвакуации
из национального парка «Красноярские столбы»
при лесном пожаре

26

S.N. MASAEV, V.A. SHNAYDER
Calculation of the optimal escape route from
the "Krasnoyarsk Pillars" National Park in case of
a forest fire

И.Р. ХАСАНОВ, С.А. ЗУЕВ, А.А. АБАШКИН
Моделирование теплового воздействия пожаров
в зданиях из деревянных конструкций
на соседние объекты

48

I.R. KHASANOV, S.A. ZUEV, A.A. ABASHKIN
Modelling of thermal effects of fires
in buildings made of wooden structures
on neighbouring objects

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

Ю.Н. ШЕБЕКО
Пожарная безопасность заправочной инфраструктуры
транспорта на водородном топливе

56

Yu.N. SHEBEKO
Fire safety of hydrogen fuel transport
refueling infrastructure

СТАТИСТИКА И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

STATISTICS AND SYSTEM ANALYSIS

С.В. СОКОЛОВ, П. ВАГНЕР
Оценка обстановки с пожарами в мире

67

S.V. SOKOLOV, P. WAGNER
Assessment of the fire situation in the world

Э.Ф. РАХМАТУЛЛИНА, А.В. ПЕРМЯКОВ,
И.Ф. ХАФИЗОВ, Ф.Ш. ХАФИЗОВ
Анализ ложных срабатываний систем
пожарной сигнализации на объектах массового
пребывания людей в период с 2021 по 2023 год

85

E.F. RAKHMATULLINA, A.V. PERMYAKOV,
I.Sh. KHAFIZOV, F.Sh. KHAFIZOV
Analysis of false alarms
of fire alarm systems at public facilities
in the period from 2021 to 2023

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЗА 2024 г.
ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2024 г.

97

AUTHORS INDEX '2024

100

GUIDE INDEX OF THE ARTICLES
PUBLISHED IN 2024

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.



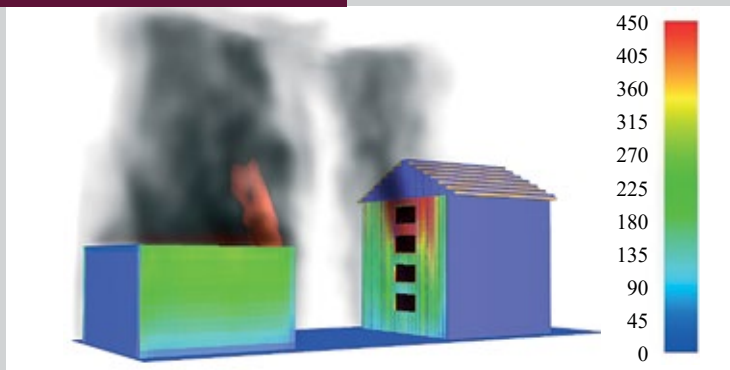
Пожарная опасность декоративных текстильных изделий

Стр. 14



Расчет оптимального пути эвакуации при лесном пожаре

Стр. 26



Моделирование теплового воздействия пожаров в зданиях

Стр. 48



Пожарная безопасность заправки транспорта на водороде

Стр. 56

Стр. 85



Анализ ложных срабатываний систем пожарной сигнализации

No. **6** VOL. **33**
2024

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 PI
No. FS 77-79402 on November 2, 2020.
DOI prefix: 10.22227.

EDITORIAL STAFF:

Executive editor **Dyadicheva A.A.**

Editor **Korzukhina L.B.**

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

Corrector **Ermikhina O.V.**

Layout **Aleynikova Y.Z.**

Address of Editorial Staff:

26 Yaroslavskoe shosse, Moscow,
129337, Russia

Corresponding to: Yaroslavskoe Shosse,
26/8, Moscow, 121352, Russia.

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.

Signed for printing 25.12.2024.

Date of publication 27.12.2024.

Format is 60 × 84 1/8.

Printing is 2000 copies.

Chalk-overlay mat paper.

Offset printing. Free price.

Journal sells subscription.

Printing house of the Publishing house

MISI – MGSU

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

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

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

EXPLOSION



**FIRE AND
SAFETY**

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

EDITOR-IN-CHIEF:

D.A. Korolchenko, Dr. 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)

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

A.V. Kalach, Dr. Sci. (Chem.), Professor (Voronezh State Technical University, Voronezh,
Russia)

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

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

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

Yu.Kh. Polandov, Dr. Sci. (Eng.), Professor (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)

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 Engine-
ering, Advisor of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (National
Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia)

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

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

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

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

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

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)

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2024. Т. 33. № 6. С. 5–13
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2024; 33(6):5-13

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.841.23

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2024.33.06.5-13>

Взрывоопасность локального изменения хода времени

Николай Львович Полетаев ✉

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В предположении о том, что ход времени изменился в ограниченной области пространства у поверхности Земли, анализируется взрывоопасность такого события.

Объект и основы метода исследования. В сферически симметричной постановке задачи исследовали возмущения идеального газа (воздуха), вызванные изменением хода времени (на относительную величину θ порядка $\pm 10^{-12}$) в неподвижной области пространства. Решение задачи основывается на предположении о правомерности модификации известной зависимости показаний часов от расположения часов в ускоренно движущейся системе отсчета (Einstein, 1907), когда ускорение (причина) и изменение хода времени (следствие) переставлены местами.

Результаты и их обсуждение. В зоне изменения хода времени возникает поле ускорения, которое по своему воздействию на воздух аналогично гравитационному полю. Приграничная область зоны выполняет роль «насоса», качающего в зону окружающий воздух или выбрасывающего воздух из зоны в случае $\theta < 0$ или $\theta > 0$ соответственно. При этом давление и температура воздуха в зоне соответственно увеличиваются или уменьшаются в некоторых случаях на порядки.

Косвенная проверка результатов. Осуществлялась путем применения полученных результатов к описанию вихревого движения и шаровой молнии.

Выводы. Введен безразмерный параметр θ , выражающий локальное возмущение (изменение) хода времени по отношению к ходу времени в остальном пространстве, где $\theta = 0$. Предложена модель исследования изменения параметров атмосферы в зоне, где $\theta \neq 0$. Выполнены оценки экстремальных значений параметров состояния воздуха в зоне для случаев уменьшения ($\theta < 0$) и увеличения ($\theta > 0$) хода времени. Для случая $\theta < 0$ релаксация флуктуации хода времени ($\theta \rightarrow 0$) может сопровождаться взрывом. Модель с $\theta > 0$ может использоваться при объяснении свечения шаровой молнии, исчезающей без взрыва.

Ключевые слова: управление ходом времени; поле ускорения; закон сохранения энергии; шаровая молния

Для цитирования: Полетаев Н.Л. Взрывоопасность локального изменения хода времени // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 6. С. 5–13. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.5-13

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

Explosion hazard of time course local change

Nikolay L. Poletaev ✉

All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Moscow region, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Assuming that the course of time has changed in a limited area of space near the Earth's surface, the explosiveness of such an event is analyzed.

The object and foundations of the research method. In a spherically symmetric formulation of the problem, perturbations of an ideal gas (air) caused by a change in the course of time (by a relative magnitude θ of the order of $\pm 10^{-12}$) in a stationary region of space were investigated. The solution of the problem is based on the assumption that it is legitimate to modify the known dependence of the clock readings on the location of the clock in an accelerated moving reference frame (Einstein, 1907), when the acceleration (cause) and the change in time course (effect) are permuted.

The results and their discussion. In the zone of time course change, a field acceleration series, which, in its effect on the air, is similar to the gravitational field. The boundary area of the zone acts as a “pump”, pumping ambient air into the zone or ejecting it from the zone in case of $\theta < 0$ or $\theta > 0$, respectively. At the same time, the air pressure and temperature in the zone respectively increase or decrease, in some cases, by orders of magnitude.

Indirect verification of results. It is made by applying the obtained results to the description of vortex motion and ball lightning.

Conclusions. A dimensionless parameter θ is introduced, expressing a local perturbation (change) of time course in relation to the time course in the rest of space, where $\theta = 0$. A model is proposed for studying changes in atmospheric parameters in a zone where $\theta \neq 0$. The estimates of the extreme values of the parameters of the air condition in the zone for the cases of time course decrease ($\theta < 0$) and increase ($\theta > 0$) are performed. For the case $\theta < 0$, the relaxation of the time course fluctuation ($\theta \rightarrow 0$) can be accompanied by an explosion. The model with $\theta > 0$ can be used to explain the glow of a ball lightning that disappears without an explosion.

Keywords: time course control; acceleration field; conservation energy law; ball lightning

For citation: Poletaev N.L. Explosion hazard of time course local change. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(6):5-13. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.5-13 (rus).

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

Введение

В ФГБУ ВНИИПО МЧС России существует практика переписки с гражданами, предлагающими изменения или дополнения нормативных документов, затрагивающих вопросы обеспечения пожарной и взрывобезопасности различных общественных и промышленных объектов. Результаты такой переписки в ряде случаев способствуют постановке актуальных научных исследований и доработке действующих противопожарных норм и правил.

Предмет настоящего исследования порожден перепиской с гражданином (далее — заявителем), предложившим переименовать известный многим «треугольник пожара» (горючее + окислитель + источник зажигания) в «пятиугольник ...» путем добавления двух «углов» (+ пространство + время). Добавление «углов» якобы формализует всегда оговариваемые обстоятельства возникновения «треугольника ...»: в одном месте пространства и одновременно. Ввиду отсутствия острой необходимости переименования общепринятого термина сотрудники института сообщили заявителю о неразумности смешения материальных углов «треугольника» с нематериальными обстоятельствами. Однако заявитель стал возражать, утверждая, в частности, что время материально. Убедить заявителя в нематериальности времени удалось путем обращения к школьному курсу физики: материальные тела должны иметь массу, а назвать массу промежутка времени в 1 с заявитель так и не смог.

Полусерьезный ответ заявителю заставил обратить более серьезное внимание на связь времени и массы. Уточняя постановку стоящей перед настоящей работой задачи, отметим следующие два обстоятельства. Во-первых, масса в соответствии со специальной теорией относительности (СТО) ассоциируется с энергией [1]. Во-вторых, закон сохранения энергии является следствием равномерности течения времени [2]. Таким образом, связь упомянутых в переписке понятий «время» и «масса» может реализоваться через связь между изменением хода времени в ограниченном объеме пространства

и изменением энергии материальных объектов в этом объеме и его окрестности.

В рамках предположения о том, что ход времени в локальной области пространства вблизи поверхности Земли изменился, в настоящей работе анализируются последствия такого события, в частности, его взрывоопасность. Математической основой анализа является соотношение теории влияния ускоренного движения системы отсчета на ход времени в ее различных точках [1], в котором ускорение (причина) и изменение хода времени (следствие) переставлены местами.

Модификация уравнения из работы [1]

Сравним ход часов, установленных в разных точках системы отсчета S , движущейся в направлении своей оси X с постоянным ускорением относительно инерциальной системы отсчета S_0 . Согласно [1] справедливо соотношение:

$$\tau(x) - \tau(x_0) = -\frac{\alpha_x}{c_L^2}(x - x_0)\tau(x_0), \quad (1)$$

где $\tau(x)$ и $\tau(x_0)$ — продолжительность одного и того же процесса (монохромного излучения атома [1]), измеренная часами, расположенными в произвольной точке и в реперной точке с координатами соответственно x и x_0 по оси X системы отсчета S ; α_x — наблюдаемое в S ускорение («свободное падение») предметов, неподвижных относительно S_0 ;

$c_L = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света в вакууме.

Неизменная реперная точка в S вводится для удобства дальнейших математических преобразований. При масштабах рассматриваемых областей пространства, удовлетворяющих условию:

$$\frac{\alpha_x}{c_L^2}|x - x_0| \ll 1, \quad (2)$$

выбор положения реперной точки не имеет принципиального значения.

Определим безразмерный параметр «изменение хода времени» θ для часов, установленных в точке x движущейся системы отсчета, как:

$$\theta = \frac{\tau(x) - \tau(x_0)}{\tau(x_0)}. \quad (3)$$

Случаи $\theta < 0$, $\theta = 0$ и $\theta > 0$ отвечают соответственно замедлению, неизменности и увеличению хода времени по отношению к часам, установленным в реперной точке. Дифференцируя выражения (1) и (3) по x , после несложных преобразований получим соотношение:

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = -\frac{\alpha_x}{c_L^2}. \quad (4)$$

Считая θ переменным параметром, представим формулу (4) в виде описания поля ускорения в направлении оси X , возникающего из-за пространственной неоднородности θ :

$$\alpha_x = -c_L^2 \frac{\partial \theta}{\partial x}.$$

В общем случае θ зависит от всех координат пространства. Повторив описанную выше процедуру для осей Y и Z , придем к обобщению:

$$\mathbf{a} = -c_L^2 \nabla \theta, \quad (5)$$

где $\mathbf{a}$ — поле ускорения, порождаемое неоднородным распределением θ в пространстве (здесь и далее векторы выделены полужирным шрифтом); ∇ — оператор Гамильтона.

Будем полагать, что по воздействию на инертную массу поле ускорения $\mathbf{a}$, определяемое выражением (5) аналогично полю гравитационного ускорения, независимо от природы происхождения градиента $\nabla \theta$ (в том числе возникшего под влиянием неизвестных на сегодня обстоятельств).

Рассматривая в дальнейшем локальное стационарное изменение (флуктуацию) хода времени вблизи поверхности Земли, выделим из правой части формулы (5) слагаемое, обусловленное земным тяготением. Получим выражение:

$$\mathbf{a} = -c_L^2 \nabla \theta + \mathbf{g}_0, \quad (6)$$

где природа происхождения $\nabla \theta$ не связана с полем тяготения Земли;

$\mathbf{g}_0$ — вектор гравитационного ускорения свободного падения.

Уравнение (6) будет основой для оценки возмущений параметров земной атмосферы вблизи неподвижной (в системе отсчета, связанной земной поверхностью) флуктуации θ . При использовании формулы (6) необходимо соблюдать условие малости изменения θ , которое является следствием условия (2).

Полагаем, что реперная точка, относительно которой производится отсчет θ , достаточно удалена от области существенных изменений параметров среды и отвечает невозмущенному ходу времени.

Постановка задачи и ее решение

Рассмотрим быстрое возникновение в околоземном пространстве, заполненном первоначально неподвижным воздухом нормального состава и состояния (давление $P_0 = 100$ кПа, температура $T_0 = 298$ К и плотность $\rho_0 = 1,2$ кг/м³), сферически симметричной, неподвижной относительно Земли постоянной флуктуации θ и оценим вызванные этим событием возмущения параметров атмосферы.

Воздух считаем идеальным газом. Промежуток времени, в течение которого возникла флуктуация, считаем малым по сравнению с характерным временем любого из физических процессов в атмосфере, порождаемых флуктуацией. Амплитуду флуктуации предполагаем достаточной для того, чтобы пренебречь влиянием второго слагаемого правой части (6), не обладающего сферической симметрией, и рассматривать только сферически симметричные возмущения параметров атмосферы.

Случай локального увеличения хода времени

На рис. 1 изображена положительная ($\theta_0 > 0$) флуктуация хода времени $\theta(r)$ в сферическом объеме пространства (далее — зоне) с независимыми от времени радиусом r_0 и толщиной приграничной области (далее — границы) $\delta r_0 \ll r_0$:

$$\theta(r) = \begin{cases} \theta_0, & \text{если } r \leq r_0 - \delta r_0; \\ \theta_0 (r_0 - r) / \delta r_0, & \text{если } r_0 - \delta r_0 < r \leq r_0; \\ 0, & \text{если } r_0 < r. \end{cases} \quad (7)$$

Поле ускорения, связанное с флуктуацией θ , согласно выражению (6) отлично от 0 только на границе зоны и направлено вдоль $\mathbf{r}$. Абсолютная величина ускорения одинакова во всех точках границы зоны:

$$\alpha_0 = \frac{c_L^2 \theta_0}{\delta r_0}. \quad (8)$$

Поле ускорения вызывает движение воздуха на границе в соответствии с уравнением импульса сплошной среды [3]:

$$\rho \frac{dv}{dt} = -\frac{\partial P}{\partial r} + \rho \alpha_0, \quad (9)$$

где ρ , v и P — соответственно плотность, радиальная скорость и давление воздуха.

Движение воздуха, инициированное полем ускорения в пределах границы зоны, с необходимостью

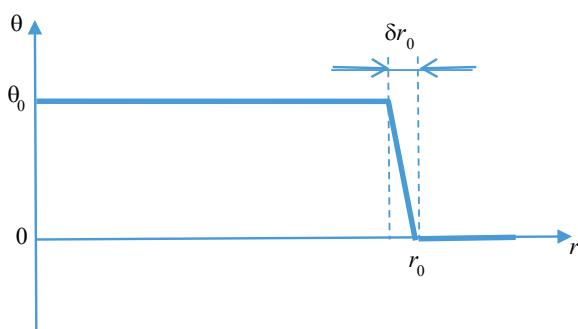


Рис. 1. Зависимость положительной флуктуации хода времени θ от расстояния r до центра зоны флуктуации
Fig. 1. Dependence of time course positive fluctuation θ on the distance r to the fluctuation zone centre

приведет к движению воздуха в соседних областях (внутри зоны и в окрестности зоны снаружи). Возникающие при этом изменения параметров воздуха разумно разделить во времени на два этапа.

На первом этапе в правой части уравнения (8) пренебрегаем первым слагаемым ввиду быстрого возникновения поля ускорения и инерции формирования поля давления воздуха, компенсирующего ускорение. Этап характеризуется движением среды со скоростями, достигающими скорости звука:

$$c_s = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{\gamma R T_0}{M}},$$

где $\gamma = 1,4$ — адиабатическая постоянная для воздуха;

$R = 8,3$ Дж/(моль·К) — универсальная газовая постоянная;

$M = 29$ г/моль — молярная масса воздуха.

Малая продолжительность первого этапа $\tau_1 \sim r_0/c_s$ позволяет описывать изменения параметров среды в адиабатическом приближении.

На втором этапе левая часть уравнения становится намного меньше любого из слагаемых правой части по абсолютной величине. Этап характеризуется малыми скоростями движения среды и активизацией процессов переноса, способствующих переходу к термодинамическому равновесию. Продолжительность второго этапа:

$$\tau_2 \sim \frac{c_p \rho_0 r_0^2}{\lambda},$$

где c_p и λ — теплоемкость и теплопроводность воздуха соответственно.

Перейдем к оценке возмущенных параметров среды в характерные моменты времени. К моменту завершения первого этапа ($t = \tau_1$) выполняется условие:

$$-\frac{\partial P}{\partial r} + \rho a_0 \approx 0, \quad (10)$$

для которого плотность воздуха ρ оценивается в адиабатическом приближении:

$$\rho/\rho_0 = (P/P_0)^{1/\gamma}. \quad (11)$$

Согласно условию (10) вне приграничной области зоны ($r_0 - \delta r_0 \leq r \leq r_0$) давление близко к постоянному значению, в частности, $P(r) \approx P_0$ при $r \geq r_0$. Это позволяет для уравнения (10) с граничным условием $P(r_0) \approx P_0$ предложить следующее решение в приграничной области:

$$P/P_0 = \begin{cases} \left[1 - \beta \frac{(r_0 - r)(\gamma - 1)}{\delta r_0 \gamma} \right]^{\gamma/(\gamma - 1)}, & \text{если } \beta < \beta^*; \\ 0, & \text{если } \beta \geq \beta^* \text{ и } r \leq r_0^*; \\ \left[1 - \beta \frac{(r_0 - r)(\gamma - 1)}{\delta r_0 \gamma} \right]^{\gamma/(\gamma - 1)}, & \text{если } \beta \geq \beta^* \\ & \text{и } r_0^* < r < r_0, \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{где } \beta = \frac{\alpha_0 \rho_0 \delta r_0}{P_0} = \gamma (c_L/c_s)^2 \theta_0;$$

$$\beta^* = \gamma/(\gamma - 1);$$

$$r_0^* = r_0 - \frac{\gamma}{\beta(\gamma - 1)} \delta r_0.$$

В область $0 \leq r \leq r_0 - \delta r_0$ распространяется значение давления на внутренней границе приграничной области $P(r_0 - \delta r_0)$. Значение T определяется соотношением:

$$T/T_0 = (P/P_0)^{(\gamma - 1)/\gamma}. \quad (13)$$

Дополнительно отметим, что решение (12) при $\beta \geq \beta^*$ имеет особенность на сфере радиусом r_0^* : эта сфера является для молекулярного движения снаружи сферы аналогом «горизонта событий» [4–8]. Даже очень быстрые молекулы охлаждаются по мере приближения к этой сфере до нулевой скорости ($T = 0$ K), после чего возвращаются полем ускорения назад, не достигнув поверхности сферы. Появление «горизонта событий» обязано совместному влиянию на скорость молекул поля ускорения и поля температур, возникшего при адиабатическом расширении воздуха зоны на первом этапе. В случае теплового равновесия появление «горизонта событий» невозможно (см. ниже).

Таким образом, на первом этапе согласно соотношениям (11)–(13) происходит снижение давления, температуры и плотности воздуха в зоне.

Второй этап связан с восстановлением термодинамического равновесия ($T \rightarrow T_0$) в зоне и ее окрестности, нарушенного процессами первого этапа. К завершению этапа ($t = \tau_2$) стационарное

распределение давления $P(r)$, компенсирующее поле ускорения в зоне, удовлетворяет уравнению (10), в котором плотность воздуха ρ определяется в изотермическом приближении:

$$\rho/\rho_0 = P/P_0. \quad (14)$$

Решение уравнения (10) в приграничной области ($r_0 - \delta r_0 \leq r \leq r_0$) с учетом условия $P(r) = P_0$ для $r \geq r_0$ имеет вид:

$$P/P_0 = \exp\left(-\beta \frac{r_0 - r}{\delta r_0}\right). \quad (15)$$

В область $0 \leq r < r_0 - \delta r_0$ распространяется значение давления на внутренней границе приграничной области:

$$P(r)/P_0 = \exp(-\beta). \quad (16)$$

Соотношения (12)–(16) показывают, что локальное увеличение хода времени приводит к снижению давления, плотности и температуры воздуха в зоне на первом этапе. На втором этапе давление продолжает снижаться, а плотность и температура растут. Быстрый выход значительной части воздуха из зоны наружу на первом этапе частично компенсируется притоком наружного воздуха в зону на втором этапе.

Случай локального уменьшения хода времени

На рис. 2 изображена отрицательная ($\theta_0 < 0$, $\beta < 0$) флуктуация хода времени в сферическом объеме пространства с независимым от времени радиусом r_0 . Поле ускорения, связанное с флуктуацией θ , совпадает с рассмотренным в соотношении (7) по абсолютной величине, но противоположно по направлению, что вызывает движение воздуха к центру симметрии и подъем давления в зоне. Это обстоятельство позволяет воспользоваться полученными ранее результатами в части разделения событий, порождаемых флуктуацией, на два этапа (адиабатический и релаксационный) и в части заимствования соотношений для продолжительности этапов и параметров среды (см. раздел Случай локального увеличения хода времени).

Давление P к моменту окончания первого этапа определяется соотношениями:

$$P/P_0 = \begin{cases} [1 - \beta(\gamma - 1)/\gamma]^{\gamma/(\gamma-1)}, & \text{если } r \leq r_0 - \delta r_0; \\ \{1 - \beta[(r_0 - r)/\delta r_0] \cdot (\gamma - 1) / \gamma\}^{\gamma/(\gamma-1)}, & \text{если } r_0 - \delta r_0 \leq r \leq r_0; \\ \approx 1, & \text{если } r > r_0, \end{cases} \quad (17)$$

плотность ρ и температура T определяются соотношениями (11) и (13).

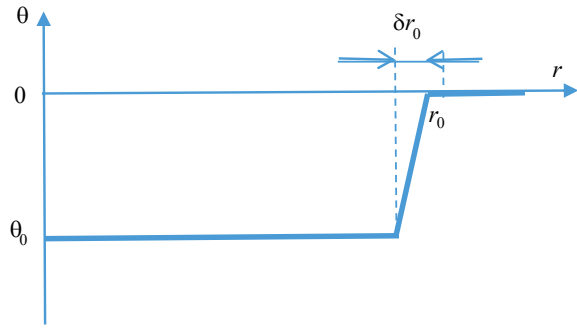


Рис. 2. Зависимость отрицательной флуктуации хода времени θ от расстояния r до центра зоны флуктуации
Fig. 2. Dependence of time course positive fluctuation θ on the distance r to the fluctuation zone centre

Параметры воздуха к завершению второго этапа составят:

$$P/P_0 = \begin{cases} \exp(-\beta), & \text{если } 0 \leq r < r_0 - \delta r_0; \\ \exp\left(-\beta \frac{r_0 - r}{\delta r_0}\right), & \text{если } r_0 - \delta r_0 \leq r < r_0; \\ 1, & \text{если } r \geq r_0, \end{cases} \quad (18)$$

плотность определяется соотношением (14); $T = T_0$.

Согласно соотношениям (12)–(18) локальное снижение хода времени θ приводит к увеличению давления, плотности и температуры воздуха в зоне на первом этапе. На втором этапе давление и плотность продолжают расти, а температура снижается. Быстрый поток наружного воздуха в зону на первом этапе сменяется на втором этапе медленным потоком того же направления.

Результаты и их обсуждение

В таблице приводятся экстремальные параметры состояния воздуха в зоне возмущений, вызванные флуктуациями хода времени. Значения параметров рассчитаны для флуктуаций, представленных на рис. 1 и 2. В соответствии с полученными в предыдущем разделе формулами экстремальные значения параметров достигаются к концу первого (адиабатического) или к концу второго (релаксационного) этапов развития возмущений. В последней строке таблицы приводится оценка изменения энергии ΔE массы воздуха m , испытавшей ускорение α_0 при движении через приграничную зону, к концу второго этапа (в единицах ΔE_0). Здесь и далее $\Delta E = m\alpha_0\delta r_0$; $\Delta E_0 = m_0\alpha_0\delta r_0 = |\beta|P_0V_0$; $m_0 = V_0\rho_0$ — начальная масса воздуха в зоне; $m = |\rho - \rho_0| \cdot V_0$; $V_0 = (4\pi/3)r_0^3$ — объем зоны; $\Delta E/\Delta E_0 = |\rho - \rho_0|/\rho_0$.

Квазистационарные значения параметров идеального газа ($\gamma = 1,4$) в зоне быстрого возникновения флуктуации хода времени к концу каждого из этапов

Quasi-stationary values of the ideal gas parameters ($\gamma = 1.4$) in the zone of rapid occurrence of fluctuations in time course at the end of each stages

Этапы Stages	Параметр Parameter	Замедление хода времени Time course decreasing				Увеличение хода времени Time course increasing					
	$\theta_0, 10^{-12}$	-5	-3	-1	0	1	2	2,4	2,5	3	6
	β	-7	-4,2	-1,4	0	1,4	2,8	3,4	3,5	4,2	8,4
1	P/P_0	47	16	3,2	1	0,17	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	ρ/ρ_0	15,6	7,2	2,3	1	0,28	0,018	$3,0 \cdot 10^{-4}$	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	T/T_0	3,0	2,2	1,4	1	0,60	0,20	0,04	≈ 0	≈ 0	≈ 0
2	P/P_0	1100	67	4,1	1	0,24	0,06	0,034	0,03	0,015	$2 \cdot 10^{-4}$
	ρ/ρ_0	1100	67	4,1	1	0,24	0,06	0,034	0,03	0,015	$2 \cdot 10^{-4}$
	T/T_0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	$\Delta E/\Delta E_0$	1100	66	3,1	0	0,76	0,94	0,966	0,97	0,98	≈ 1

При заполнении таблицы учтено, что корректное использование полученных решений требует, чтобы характерные масштабы изменений параметров состояния воздуха заметно превышали длину свободного пробега молекул воздуха. Поэтому формально строгое равенство нулю параметров воздуха в решении уравнения (12) заменено на приближенное равенство.

Данные таблицы позволяют оценить условие правомерности использованного в работе предположения о возможности пренебречь вторым слагаемым в правой части (6) по сравнению с первым слагаемым при оценке влияния флуктуации хода времени на возмущения параметров среды. Для этого сравниваются потенциал гравитационного поля $g_0 r_0$ и потенциал поля приграничного ускорения $\alpha_0 \delta r_0$ для $|\theta_0| \sim 10^{-12}$. С учетом формулы (8) несложно показать, что упомянутое условие $g_0 r_0 \ll \alpha_0 \delta r_0$ выполняется при неравенстве $r_0 \ll c_L^2 |\theta_0| / g_0 \approx 10^4$ м, которое предполагается выполненным.

Оценим опасность возникновения и исчезновения флуктуаций хода времени выбранной формы (см. рис. 1 и 2) для расположенных поблизости объектов в части, касающейся возможного инициирования пожара или взрыва.

По данным таблицы, возникновение высокой температуры характерно только для случая локального замедления хода времени. Уже при $\theta_0 = -3 \cdot 10^{-12}$ возникает нагрев зоны флуктуации до температуры выше 300°C , при которой возможно самовоспламенение некоторых видов горючих газообразных или дисперсных материалов [9], способных проникнуть в зону флуктуации хода времени вместе с воздушным потоком. Однако наибольшая опасность связана с возникновением высокого давления, также характерного только для случая локального замедления хода времени. Данная опасность близка к опасности,

возникающей при разрушении сосуда под высоким давлением [10–12].

Из данных таблицы следует, что случай локального ускорения хода времени не сопровождается увеличением давления и температуры среды. Быстрое исчезновение зоны флуктуации $\theta_0 \rightarrow 0$ сопровождается заполнением зоны атмосферным воздухом, имеющим характер хлопка, аналогичного тому, который возникает при разрушении стеклянной оболочки лампочки освещения с вольфрамовой спиралью.

Таким образом, в рамках предложенной модели определения последствий локального изменения хода времени с последующей релаксацией к обычному темпу течения времени данное событие характеризуется пожаровзрывоопасным выделением энергии, в основном в случае начального замедления хода времени по примеру на рис. 2.

О проверке результатов работы

Автору не известен способ реализации представленной в работе флуктуации хода времени, что делает самостоятельную проверку результатов работы недоступной. Ему также не известны попытки экспериментальной реализации подобного объекта в пространстве другими исследователями. При таких обстоятельствах автор допускает использование косвенных данных для оценки достоверности полученных результатов.

Рассмотрим стационарное вращение цилиндрического объема газа с радиусом r_0 и бесконечной длины (далее — объекта) вокруг оси симметрии с угловой скоростью ω , в окружении неподвижной атмосферы того же газа (воздуха нормального состава и состояния). Газ представляется идеальной сжимаемой жидкостью. Неустойчивость тангенциального разрыва скорости течения газа не принимается во внимание (рассматривается решение с цилиндрической

симметрией). Выполняется условие $\omega r_0 \ll c_L$. Здесь и далее $\omega = |\omega|$, $r = |r|$. Температура газа постоянна и равна T_0 . Распределение параметров задачи в плоскости, нормальной к оси симметрии, не зависит от положения этой плоскости. Далее рассматривается одна из таких плоскостей. Распределение скорости газа в этой плоскости имеет вид:

$$v = \begin{cases} [\omega \cdot r], & \text{если } r \leq r_0; \\ 0, & \text{если } r > r_0, \end{cases} \quad (19)$$

где r — радиус-вектор рассматриваемой точки плоскости с началом на оси симметрии.

Газ в выделенном объеме испытывает центробежное ускорение:

$$a = \omega^2 r. \quad (20)$$

Стационарность параметров рассматриваемого объекта предполагает отсутствие движения газа в радиальном направлении, что накладывает условие на распределение давления P в пространстве [3]:

$$\nabla P = a\rho.$$

Плотность газа ρ при постоянной температуре подчиняется соотношению (14). С учетом того, что давление газа на границе вращающегося объема равно P_0 , для распределения давления во вращающемся объеме получим выражение:

$$P = P_0 \exp\left(\gamma \omega^2 \frac{r^2 - r_0^2}{c_s^2}\right). \quad (21)$$

Полагаем, что в инерциальной системе отсчета S_0 , связанной с неподвижным газом, часы синхронизированы. Часы объекта, неподвижные в неинерциальной системе отсчета S , вращающейся вместе с объемом газа, движутся со скоростью v относительно S_0 и согласно СТО [2] идут медленнее часов S_0 на относительную величину:

$$\theta = \sqrt{1 - |v|^2/c_L^2} - 1 \approx -|v|^2/(2c_L^2). \quad (22)$$

Аналогичное отставание часов объекта по отношению к реперной точки на оси вращения наблюдается в S , где часы объекта неподвижны относительно друг друга. Таким образом, рассматриваемый объект моделирует в S двумерную стационарную локальную ($|r| < r_0$) флуктуацию хода времени, форма которой определяется соотношениями (19) и (22).

С учетом выражения (19) можно проверить выполнение уравнения (5), связывающее параметры a и θ , определенные для рассмотренного объекта соотношениями (20) и (22) соответственно. Согласно выражению (21) можно убедиться в том, что существенное различие давления в объеме объекта (между точкой

$|r| = 0$ и точкой $|r| = r_0$) наступает при $|v| \sim c_s$. Это условие согласно формуле (22) соответствует масштабу относительного изменения хода времени $\theta_0 \sim (c_s/c_L)^2 \approx 10^{-12}$, что согласуется с полученным в работе результатом.

Автор не исключает возможности обнаружить трехмерную локальную флуктуацию хода времени среди известных природных явлений. Возможным примером реализации рассмотренной в работе модели с зоной положительной флуктуации хода времени (рис. 1) является шаровая молния — светящийся шар, возникающий во время грозовой активности в земной атмосфере. Из многих попыток объяснения явления (см., например, [13–16]) выделяется работа [17], автор которой первым предложил искать внешний источник энергии для объяснения свечения шаровой молнии. В качестве такого источника в работе [17] рассматривалось резонансное поглощение шаровой молнией радиоизлучения грозы. Растущая напряженность электрического поля E достигает значения $E^ \approx 3 \cdot 10^4$ В/см, при котором возникают безэлектродные пробои воздуха, генерирующие излучение. Кроме того, упоминание в работе [17] так называемых «огней святого Эльма» (тлеющего кистеобразного свечения) является, по мнению автора, косвенно высказанным предположением о возможности рассматривать квазистационарное электрическое поле предгрозовой атмосферы в качестве источника энергии для шаровой молнии с низкой мощностью свечения.*

Обоснование правомерности предположений работы [17] заметно упрощается при существенном уменьшении E^* . Для этого, согласно закону Пашена [18, 19], следует снизить давление воздуха P в объеме шаровой молнии. В частности, для снижения E^* до минимальной величины (квазистационарной напряженности поля в атмосфере $E_0 \sim 100$ В/м [20]) потребуется снизить P до нескольких торр. Выполнить такое требование при нормальном давлении окружающего воздуха позволит увеличение хода времени в объеме шаровой молнии по примеру рис. 1.

Детальное исследование совместимости изменения хода времени в зоне и свечения зоны в предгрозовой атмосфере выходит за пределы задачи, поставленной перед данной работой.

Выводы

Ход времени рассмотрен в качестве переменного параметра. Предложена модель исследования возмущения параметров состояния атмосферного воздуха в области локального изменения хода времени. Рассчитаны экстремальные значения давления, плотности и температуры воздуха на адиабатической и релаксационной стадии возмущения параметров для

случая замедления и случая увеличения хода времени с последующим восстановлением нормального темпа течения времени. Локальное изменение хода времени характеризуется пожаровзрывоопасным выделением

энергии, в основном в случае начального замедления хода времени. Модель с локальным увеличением хода времени может использоваться при объяснении свечения шаровой молнии, исчезающей без взрыва.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Einstein A.* Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen // *Radioaktivität u. Elektronik.* 1907. Bd. 4. S. 411.
2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика : учеб. пос. в 10 тт. Т. 1. Механика. 5-е изд., стереот. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. 224 с.
3. *Седов Л.И.* Механика сплошной среды. М. : Наука, 1970. Т. 1. 492 с.
4. *Rindler W.* Visual horizons in world-models // *General Relativity and Gravitation.* 2002. No. 34 (1). Pp. 133–153. DOI: 10.1023/a:1015347106729
5. *Melia F.* The apparent (gravitational) horizon in cosmology // *American Journal of Physics.* 2018. No. 86 (8). Pp. 585–593. DOI: 10.1119/1.5045333
6. *Zlotnikov M.* Inflation alternative via the gravitational field of a singularity // *Classical and Quantum Gravity.* 2022. DOI: 10.1088/1361-6382/ad210d
7. *Faraoni V., Ellis G.F.R., Firouzjaee J.T., Helou A., Musco I.* Foliation dependence of black hole apparent horizons in spherical symmetry // *Physical Review D.* 2017. No. 95 (2). DOI: 10.1103/physrevd.95.024008
8. *Coley A.A., Ellis G.F.R.* Theoretical cosmology // *Classical and Quantum Gravity.* 2019. DOI: 10.1088/1361-6382/ab49b6
9. *Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. и др.* Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справ. изд. в 2-х кн. М. : Химия, 1990.
10. *Molkov V., Kashkarov S.* Blast wave from a high-pressure gas tank rupture in a fire: Stand-alone and under-vehicle hydrogen tanks // *International Journal of Hydrogen Energy.* 2015. No. 40 (36). Pp. 12581–12603. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.03.027
11. *Шебеко Ю.Н.* Особенности поведения резервуаров с компримированным и сжиженным водородом в очаге пожара // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety.* 2024. № 33 (2). С. 50–58. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.02.50-58
12. *Myilsamy D., Oh C.B.* Computational study of a high-pressure hydrogen storage tank explosion at different heights from the ground // *International Journal of Hydrogen Energy.* 2024. No. 50 (2). DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.10.138
13. *Mahabaduge H.* A review of ball lightning models // *Georgia Journal of Science.* 2019. Vol. 77. No. 2. URL: <https://digitalcommons.gaacademy.org/gjs/vol77/iss2/18>
14. *Oreshko A.G., Oreshko A.A., Mavlyudov T.B.* Proton-electron model of ball lightning structure // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* 2019. Vol. 182. Pp. 194–199. DOI: 10.1016/j.jastp.2018.11.017
15. *Nikitin A.I., Nikitin V.A., Velichko A.M., Nikitina T.F.* Features of the mechanism of ball lightning electromagnetic radiation // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* 2021. Vol. 222. P. 105711. DOI: 10.1016/j.jastp.2021.105711
16. *Shmatov M.L., Stephan K.D.* Questions regarding alleged laboratory creation of ball lightning // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* 2023. Vol. 242. P. 105995. DOI: 10.1016/j.jastp.2022.105995
17. *Кануца П.Л.* О природе шаровой молнии // *Доклады АН СССР.* 1955. № 101 (2). Pp. 245–248.
18. *Husain E., Nema R.* Analysis of paschen curves for air, N₂ and SF₆ Using the Townsend Breakdown Equation // *IEEE Transactions on Electrical Insulation.* 1982. No. 4. Pp. 350–353. DOI: 10.1109/TEI.1982.298506
19. *Райзер Ю.П.* Физика газового разряда. 2-е изд. М. : Наука, 1992. 536 с.
20. *Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M.* The Feynman lectures on physics Vol. II. Electromagnetism and Matter. Basic Books, New York, 2010. 566 p.

REFERENCES

1. Einstein A. Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen. *Radioaktivität u. Elektronik.* 1907; 4:411. (ger).
2. Landau L.D., Lifschitz E.M. *Mechanics. 5th ed., Vol. I.* Moscow, 2004; 224. (rus).
3. Sedov L.I. *Mechanics of a continuous medium.* Moscow, Nauka Publ., 1970; 1:492. (rus).
4. Rindler W. Visual horizons in world-models. *General Relativity and Gravitation.* 2002; 34(1):133-153. DOI: 10.1023/a:1015347106729
5. Melia F. The apparent (gravitational) horizon in cosmology. *American Journal of Physics.* 2018; 86(8):585-593. DOI: 10.1119/1.5045333

6. Zlotnikov M. Inflation alternative via the gravitational field of a singularity. *Classical and Quantum Gravity*. 2022. DOI: 10.1088/1361-6382/ad210d
7. Faraoni V., Ellis G.F.R., Firouzjaee J.T., Helou A., Musco I. Foliation dependence of black hole apparent horizons in spherical symmetry. *Physical Review D*. 2017; 95(2). DOI: 10.1103/physrevd.95.024008
8. Coley A.A., Ellis G.F.R. Theoretical cosmology. *Classical and Quantum Gravity*. 2019. DOI: 10.1088/1361-6382/ab49b6
9. Baratov A.N., Korolchenko A.Ya., Kravchuk G.N. et al. *Fire and explosion hazard of substances and materials and means of their extinguishing : cases. In 2 books*. Moscow, Khimiya Publ., 1990 (rus).
10. Molkov V., Kashkarov S. Blast wave from a high-pressure gas tank rupture in a fire: Stand-alone and under-vehicle hydrogen tanks. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2015; 40(36):12581-12603. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.03.027
11. Shebeko Yu.N. Behavior of compressed and liquefied hydrogen tanks in a fire zone. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(2):50-58. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.02.50-58 (rus).
12. Myilsamy D., Oh C.B. Computational study of a high-pressure hydrogen storage tank explosion at different heights from the ground. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024; 50(2). DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.10.138
13. Mahabaduge H. A review of ball lightning models. *Georgia Journal of Science*. 2019; 77(2). URL: <https://digital-commons.gaacademy.org/gjs/vol77/iss2/18>
14. Oreshko A.G., Oreshko A.A., Mavlyudov T.B. Proton-electron model of ball lightning structure. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2019; 182:194-199. DOI: 10.1016/j.jastp.2018.11.017
15. Nikitin A.I., Nikitin V.A., Velichko A.M., Nikitina T.F. Features of the mechanism of ball lightning electromagnetic radiation. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2021; 222:105711. DOI: 10.1016/j.jastp.2021.105711
16. Shmatov M.L., Stephan K.D. Questions regarding alleged laboratory creation of ball lightning. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 2023; 242:105995. DOI: 10.1016/j.jastp.2022.105995
17. Kapitsa P.L. On a nature of ball lightning. *Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1955; 101(2):245-248. (rus).
18. Husain E., Nema R. Analysis of Paschen Curves for air, N₂ and SF₆ Using the Townsend Breakdown Equation. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*. 1982; 4:350-353. DOI: 10.1109/TEI.1982.298506
19. Raiser Yu.P. *Physics of a gas discharge. 2nd ed*. Moscow, Nauka Publ., 1992; 536. (rus).
20. Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M. *The Feynman Lectures on Physics Vol. II. Electromagnetism and Matter*. Basic Books, New York, 2010; 566.

Поступила 24.10.2024, после доработки 07.11.2024;

принята к публикации 12.11.2024

Received October 27, 2024; Received in revised form November 7, 2024;

Accepted November 12, 2024

Информация об авторе

ПОЛЮТАЕВ Николай Львович, д.т.н., ведущий научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; РИНЦ ID: 1093620; ORCID: 0000-0003-2586-8597; e-mail: nlpvniipo@mail.ru

Information about the author

Nikolay L. POLETAEV, Dr. Sci. (Eng.), Leading Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ID RSCI: 1093620; ORCID: 0000-0003-2586-8597; e-mail: nlpvniipo@mail.ru

Пожарная опасность декоративных текстильных изделий в помещениях общественных зданий и сооружений

Наталья Ивановна Константинова, Андрей Владимирович Зубань ✉, Евгений Александрович Поединцев, Ольга Викторовна Кривошапкина

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Текстильные материалы и изделия пожароопасны, занимают значительную часть пространства общественных зданий (в том числе гостиничные объекты, зрительные залы и другое), однако требования пожарной безопасности к ним установлены не в полной мере, что затрудняет подтверждение соответствия требованиям пожарной безопасности.

Состояние вопроса. Представлен анализ основных действующих в Российской Федерации нормативных документов, содержащих требования по пожарной безопасности текстильных материалов и изделий в общественных зданиях и сооружениях. Установлено, что они содержат разрозненные и в ряде случаев противоречащие друг другу требования по пожарной безопасности, кроме того, отсутствует единый методологический подход к оценке их воспламеняемости.

Результаты исследований и их обсуждение. Представлены данные об основных действующих и разрабатываемых в настоящее время стандартных методах классификационной оценки воспламеняемости декоративных текстильных изделий в зависимости от их назначения. Проведены экспериментальные исследования изделий мягкой мебели, разработаны методики стандартных испытаний, в которых установлена компоновка образцов, обоснованы тип маломощных источников зажигания, основные параметры и критерии классификационной оценки воспламеняемости. Выявлено, что к наиболее пожароопасным изделиям мягкой мебели относятся композиции из натуральных материалов, используемые, в основном, в качестве чехлов, обивки и наполнителей.

Выводы. Обоснован комплекс параметров и критериев оценки пожарной опасности текстильных изделий, установлена классификация по воспламеняемости, необходимая для регламентации их пожаробезопасного применения в помещениях общественных зданий и сооружений, а также подтверждения соответствия установленным требованиям безопасности.

Ключевые слова: методы испытаний на воспламеняемость; источники зажигания; критерии оценки пожарной опасности; мягкая мебель; средства огнезащиты

Для цитирования: Константинова Н.И., Зубань А.В., Поединцев Е.А., Кривошапкина О.В. Пожарная опасность декоративных текстильных изделий в помещениях общественных зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 6. С. 14–25. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.14-25

✉ Зубань Андрей Владимирович, e-mail: avzuban@mail.ru

Fire hazard of decorative textiles in the premises of public buildings and structures

Nataliya I. Konstantinova, Andrey V. Zuban ✉, Evgenij A. Poedintsev, Olga V. Krivoshapkina

All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Moscow region, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Textile materials and products are fire hazardous, occupy a significant part of the space of public buildings (hotel facilities, auditoriums, etc.), however, fire safety requirements for them are not fully established, which makes it difficult to confirm compliance with fire safety requirements.

State of the issue. An analysis of the main regulatory documents in force in the Russian Federation containing fire safety requirements for textile materials and products in public buildings and structures is presented. It is

established that they contain disparate and, in some cases, contradictory fire safety requirements, in addition, there is no unified methodological approach to assessing their flammability.

Research results and their discussion. Data are presented on the main current and currently being developed standard methods for classification assessment the flammability of decorative textiles depending on their purpose. Experimental studies of upholstered furniture products were carried out, methods of standard tests were developed, in which the specimen layout was established, the type of low-power ignition sources, the main parameters and criteria for classification assessment of flammability were substantiated. It was revealed that the most fire-hazardous products of upholstered furniture include compositions made of natural materials, used mainly as covers, upholstery and fillers.

Conclusions. A set of parameters and criteria for assessing the fire hazard of textile products is substantiated, a flammability classification is established, which is necessary to regulate their fire-safe application in premises of public buildings and structures, as well as to confirm compliance with the established safety requirements.

Keywords: flammability test methods; ignition sources; fire hazard assessment criteria; upholstered furniture; fire protection means

For citation: Konstantinova N.I., Zuban A.V., Poedintsev E.A., Krivoschapkina O.V. Fire hazard of decorative textiles in the premises of public buildings and structures. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(6):14-25. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.14-25 (rus).

✉ Andrey Vladimirovich Zuban, e-mail: avzuban@mail.ru

Введение

В настоящее время достаточно большое количество текстильных изделий в помещениях общественных зданий и сооружений несут не только функциональную нагрузку, но и составляют их декоративное оформление. Особенно важное значение придается использованию текстиля в интерьере гостиничных объектов (отели, санатории, дома отдыха и т.п.) и в оформлении зрительных залов (театры, кино-театры, культурно-просветительные учреждения и т.п.), где он придает помещениям эстетичность, а посетителям комфорт и удобство.

В зрительных залах широко применяется текстильное оформление в виде декораций, занавесей, штор, а также наибольшую площадь помещений занимают стулья и кресла с мягкими элементами. К основным категориям гостиничного текстиля относятся постельное белье, декоративный текстиль (шторы, портьеры, скатерти, покрывала, чехлы, коврики и т.д.), а также изделия и элементы мягкой мебели (кресла-кровати, матрасы, стулья, кресла, банкетки, пуфы).

Учитывая особенности эксплуатационной нагрузки на декоративный текстиль для зрительных залов и гостиниц, к используемым тканям и изделиям из них предъявляются специальные требования. Они должны легко поддаваться чистке и глажке, не изменять форму после многочисленных стирок, иметь влаго- и грязеотталкивающую пропитку, не накапливать статическое электричество и прочее.

Однако, несмотря на общий объем текстильных материалов и изделий, занимающий значительную часть пространства гостиничных номеров, холлов, а также зрительных залов общественных зданий, требования пожарной безопасности к ним установлены не в полной мере. Между тем использование легковозгораемых текстильных материалов в таких изделиях, например шторы, занавеси,

мягкая мебель, создает риск их воспламенения от маломощных источников зажигания и дальнейшего развития пожара. Особенно опасно применение легковоспламеняющихся декоративных текстильных изделий в зданиях гостиничного типа повышенной этажности и зрительных залах большой вместимости, связанное с быстрым распространением пожара, трудностью подачи средств тушения, продолжительным временем эвакуации людей [1].

Анализ данных по статистике пожаров, произошедших от возгорания только мебели в зданиях жилого назначения и временного пребывания людей (гостиницы, дома отдыха, санатории, учреждения туризма и т.п.), свидетельствует о росте их количества, прямого ущерба, числа погибших и травмированных людей [2].

Состояние вопроса

В настоящее время на территории Российской Федерации действуют нормативные документы, содержащие разрозненные и порой противоречащие друг другу требования по пожарной безопасности мебельной продукции, в том числе кресел для зрительных залов.

Так, в действующем ГОСТ 16854–2016¹, в соответствии с п. 4.5.19: «Для изготовления мягких элементов кресел не должны применяться легковоспламеняемые и относящиеся к группе Т4 по токсичности продуктов горения обивочные текстильные и кожевенные материалы», одновременно в п. 4.5.16.1 изложено, что «в мягких элементах между облицовочной тканью и пенорезиной должен быть проложен дополнительный настилочный слой типа ватина или ватилина толщиной не менее 3 мм», т.е. легковозгораемый материал.

¹ ГОСТ 16854–2016. Кресла для зрительных залов. Общие технические условия.

В СП 4.13130.2013², где пункт 5.4.13 содержит формулировку: «Для сидений в зальных помещениях зрелищных объектов закрытого типа не допускается применение легковоспламеняемых материалов, а применяемые обивочные, набивочные и прокладочные материалы не должны относиться к группе Т4 по токсичности продуктов горения», нет однозначного понимания о методологии оценки воспламеняемости материалов и готовых мебельных изделий.

Также необходимый уровень пожарной безопасности согласно требованиям ТР ТС 025/2012³ достигается ограничением применения легковоспламеняемых и относящихся к чрезвычайно опасным по токсичности продуктов горения текстильных и кожевенных материалов, применяемых в качестве обивочных. Однако стандарты^{4, 5, 6, 7}, в результате применения которых обеспечивается соблюдение требований ТР ТС 025³ по определению воспламеняемости, не согласуются между собой по процедуре испытаний, параметрам и критериям оценки.

В табл. 30 Технического регламента⁸ приведен Перечень показателей, составляющих информацию о пожарной опасности текстильных и кожевенных материалов, предназначенных для изготовления штор, занавесей и мягкой мебели, которая должна указываться в сопроводительных документах, но требований к пожаробезопасному применению указанных текстильных изделий в помещениях общественных зданий закон не устанавливает.

Таким образом, подтверждение соответствия текстильных изделий, применяемых в помещениях общественных зданий и сооружений, существующим требованиям пожарной безопасности или не проводится, или носит не однозначный, а во многих случаях необъективный характер.

Одним из важных вопросов, требующих неотложного решения, остается разработка декоративных текстильных изделий пониженной воспламеняемости, для чего необходима объективная методология их испытаний с установлением параметров и крите-

риев оценки пожарной опасности для создания норм, регламентирующих требования их безопасного применения в помещениях общественных зданий и сооружений.

Аналитические исследования по состоянию нормативных требований пожаробезопасного применения текстильных изделий за рубежом показали, что для общественных зданий установлены достаточно жесткие нормы, включающие ограничение использования легковозгораемых материалов, входящих в состав мягкой мебели, матрасов, штор, портьер и т.п. по комплексу показателей — скорости тепловыделения, токсичности продуктов горения, воспламеняемости и другому, в зависимости от функционального назначения зданий (гостиницы, школы, общественные и лечебные учреждения, концертные залы) [3, 4].

Учитывая ранее проведенные авторами исследования [5, 6] по установлению факторов, влияющих на пожарную опасность декоративных текстильных материалов и изделий различного функционального назначения, а также подходов к их огнезащите, можно сделать заключение о целесообразности ограничения использования легковозгораемого декоративного текстиля в помещениях общественных зданий и сооружений, в первую очередь гостиничного и зрелищного типа.

Целью настоящих исследований являлась разработка необходимых и достаточных параметров и критериев оценки пожарной опасности декоративных текстильных изделий, в первую очередь штор, занавесей, портьер, мягкой мебели, с учетом существующей методологической базы испытаний, для установления их безопасного применения в помещениях общественных зданий и сооружений.

Результаты исследований и их обсуждение

В табл. 1 представлены данные об основных действующих и разрабатываемых в настоящее время стандартных методах классификационной оценки воспламеняемости декоративных текстильных изделий (ТИ) в зависимости от их назначения.

Используемые материалы в качестве штор, занавесей, портьер в помещениях гостиниц и зрительных залах — легковоспламеняющиеся материалы из синтетических, натуральных или смешанных волокон, поэтому необходимо обеспечивать их огнезащиту. Применяемая в настоящее время поверхностная обработка средствами огнезащиты (СО) декоративных текстильных изделий в зданиях гостиничного и зрелищного назначения имеет ряд существенных недостатков. Так, обязательность регулярных стирок или (и) чисток приводит к потере огнезащитной эффективности, а следовательно, необходимости повторной обработки изделий СО, и зачастую после

² СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты.

³ ТР ТС 025/2012. О безопасности мебельной продукции (статья 5, п. 5.1).

⁴ ГОСТ 19917–2014. Мебель для сидения и лежания. Общие технические условия.

⁵ ГОСТ Р 50810–95. Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация.

⁶ ГОСТ Р 53294–2009. Материалы текстильные. Постельные принадлежности. Мягкие элементы мебели. Шторы. Занавеси. Методы испытаний на воспламеняемость.

⁷ ГОСТ EN 1021-1–2016. Мебель. Оценка воспламеняемости мягкой мебели. Часть 1. Источник возгорания тлеющая сигарета.

⁸ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ.

Таблица 1. Действующие и разрабатываемые стандартные методы классификационной оценки воспламеняемости декоративных текстильных изделий**Table 1.** Current and developed standard methods for classification assessment of flammability of decorative textiles

Нормативный документ, регламентирующий испытания ТИ на воспламеняемость Regulatory document regulating textiles flammability tests	Характеристики источников зажигания Characteristics of ignition sources	Продолжительность воздействия, с Duration of exposure, s	Критерии оценки воспламеняемости Flammability estimates criteria	
			Время остаточного тления или устойчивого горения/ время остаточного пламенного горения, с Time of residual smoldering or steady burning/residual flame burn time, s	Размер поврежденной поверхности Damaged surface size
ГОСТ Р 50810–95 (шторы, занавеси, портьеры) GOST R 50810–95 (curtains, portieres)	Газовая горелка Gas burner	15	Более 5 More 5	Прогорание образца до одной из его кромок у любого из образцов, испытанных при зажигании с поверхности/средняя длина обугливающегося участка более 150 мм у любого из образцов, испытанных при воздействии пламени с поверхности или кромки Burning of the specimen to one of its edges in any of the specimens tested during ignition from the surface/the average length of the charring area is more than 150 mm for any of the specimens tested when exposed to flame from the surface or edge
ГОСТ Р 53294. П. 4. Постельные принадлежности GOST R 53294. P. 4. Bedding	Газовая горелка Gas burner	15 ± 1	Более 150 More 150	—
	Тлеющая сигарета: длина 70 ± 4 мм; диаметр 8,0 ± 0,5 мм; масса 1,0 ± 0,1 г Smoldering cigarette: length 70 ± 4 mm; diameter 8.0 ± 0.5 mm; weight 1.0 ± 0.1 g	Время тления части сигареты длиной 50 мм составляет 12 ± 3 мин Smoldering time of the part cigarettes 50 mm long is 12 ± 3 min	Более 3600 More 3,600	Горение или тление распространилось более чем на 50 мм в горизонтальном направлении от места расположения тлеющей сигареты Burning or smoldering spread more than 50 mm horizontally from the location of the smoldering cigarette
П. 5. Мягкие элементы мебели P. 5. Soft furniture elements	Газовая горелка Gas burner	20 ± 1	Более 120 More 120	Горение или тление распространилось за время испытаний до верхней или нижней границы испытательного стенда или на всю толщину материала Burning or smoldering spread during the tests to the upper or lower limit of the test bench or to the entire thickness of the material

Нормативный документ, регламентирующий испытания ТИ на воспламеняемость Regulatory document regulating textiles flammability tests	Характеристики источников зажигания Characteristics of ignition sources	Продолжительность воздействия, с Duration of exposure, s	Критерии оценки воспламеняемости Flammability estimates criteria	
			Время остаточного тления или устойчивого горения/ время остаточного пламенного горения, с Time of residual smoldering or steady burning/residual flame burn time, s	Размер поврежденной поверхности Damaged surface size
	Тлеющая сигарета: длина 70 ± 4 мм; диаметр $8,0 \pm 0,5$ мм; масса $1,0 \pm 0,1$ г Smoldering cigarette: length 70 ± 4 mm; diameter 8.0 ± 0.5 mm; weight 1.0 ± 0.1 g	Время тления части сигареты длиной 50 мм составляет 12 ± 3 мин Smoldering time of the part cigarettes 50 mm long is 12 ± 3 min	—	Более 100 мм в любом из направлений от места воздействия тлеющей сигареты More than 100 mm in either direction from the site of exposure to the smoldering cigarette
ГОСТ. Мягкие элементы мебели. Метод испытаний на воспламеняемость (проект) GOST. Soft furniture elements. Test methods for flammability (project)	Газовая горелка Gas burner	15 ± 1	Более 120 More 120	Горение или тление распространилось за время испытаний до верхней или нижней границы испытательного стенда или на всю толщину материала Burning or smoldering spread during the tests to the upper or lower limit of the test bench or to the entire thickness of the material
	Тлеющая сигарета: длина 70 ± 4 мм; диаметр $8,0 \pm 0,5$ мм; масса $1,0 \pm 0,1$ г Smoldering cigarette: length 70 ± 4 mm; diameter 8.0 ± 0.5 mm; weight 1.0 ± 0.1 g	Время тления части сигареты длиной 50 мм составляет 12 ± 3 мин Smoldering time of the part cigarettes 50 mm long is 12 ± 3 min	Более 3600 More 3,600	Более 100 мм в любом из направлений от места воздействия тлеющей сигареты More than 100 mm in either direction from the site of exposure to the smoldering cigarette
ГОСТ. Мебель. Оценка воспламеняемости матрасов (проект) GOST. Furniture. Evaluation of mattress flammability (project)	Газовая горелка Gas burner	15 ± 1	Более 120 More 120	—
	Тлеющая сигарета: длина 70 ± 4 мм; диаметр $8,0 \pm 0,5$ мм; масса $1,0 \pm 0,1$ г; с покрывным слоем ХБ ваты Smoldering cigarette: length 70 ± 4 mm; diameter 8.0 ± 0.5 mm; weight 1.0 ± 0.1 g; with a coating layer of cotton wool	Время тления части сигареты длиной 50 мм составляет 12 ± 3 мин Smoldering time of the part cigarettes 50 mm long is 12 ± 3 min	Более 3600 More 3,600	Более 50 мм в любом из направлений от места воздействия тлеющей сигареты с покрывным слоем ХБ ваты More than 50 mm in either direction from the site of exposure to the smoldering cigarette with a coating layer of cotton wool

обработки ткань теряет декоративные и эксплуатационные свойства. Кроме того, отсутствие стандарта, устанавливающего общие требования к СО для текстильных материалов и изделий на стадии их разработки, применения и эксплуатации не позволяет во многих случаях произвести объективное подтверждение их соответствия нормам пожарной безопасности, поэтому их применение не всегда обеспечивает эффективность огнезащиты. Результаты научно-исследовательских работ специалистов [7, 8] позволили сформулировать основные положения порядка проведения огнезащиты текстильных материалов и изделий и изложить их в проекте ГОСТа «Средства огнезащиты для текстильных материалов. Общие требования. Методы испытаний», разработанного в обеспечение ТР ЕАЭС 043/2017⁹.

Однако, по мнению специалистов, целесообразно при ограничении использования горючих легковоспламеняющихся текстильных материалов и изделий в местах массового пребывания людей, в том числе в гостиницах, театрально-концертных залах, применять шторы, занавеси, портьеры из трудновоспламеняемых тканей на основе модифицированных огнезащищенных волокон, так как они устойчивы к многократным чисткам и стиркам, и, кроме того, сохраняют цвет и декоративность.

Современные изделия мягкой мебели, используемые в основном для зрелищных залов — это стулья и кресла, для гостиниц — диваны, кровати, матрасы, кресла, представляют собой многослойные изделия, включающие разнообразные материалы и ткани, которые в совокупности обеспечивают требуемые эксплуатационные свойства. В зависимости от назначения ассортимент выпускаемой мягкой мебели обуславливает применение различных сочетаний материалов по толщине, плотности и химическому составу, что, безусловно, влияет на их пожарную опасность.

Результаты исследований возможности возгорания мягкой мебели от маломощных источников и дальнейшего развития пожара в помещении показали опасность использования неогнезащищенных композиционных сочетаний изделий и развития опасных факторов пожара, в значительной степени влияющих на безопасную эвакуацию людей [9]. Изучение параметров токсичности материалов, составляющих композицию изделий мягкой мебели, позволило выявить наиболее опасные продукты термического разложения [10–13].

Экспериментальные данные, полученные на основании многочисленных испытаний изделий мягкой мебели в России и за рубежом [14, 15], позволили разработать методики стандартных испытаний, в которых

установлена компоновка образцов, обоснованы тип маломощных источников зажигания, основные параметры и критерии оценки воспламеняемости. Учитывая международный опыт оценки пожарной опасности изделий мягкой мебели и постельных принадлежностей, для определения воспламеняемости [16] в разработанных методах испытаний были установлены следующие по форме тестовые образцы: для диванов, кресел и т.п. — сиденье и спинка, а для матрасов — горизонтально расположенный образец, кроме того, были обоснованы и выбраны малокалорийные источники зажигания — пламя горелки, эквивалентное пламени спички, и тлеющая сигарета.

Композиции серийно выпускаемых изделий мягкой мебели составляют горючие легковоспламеняемые обивочные и набивочные материалы (ткани из полиэфирных, хлопковых и смешанных волокон, комбинации наполнителей из натуральных (кокос, хлопок, бамбук) и синтетических (полиэфир) полипропиленовых волокон, а также различные по химическому составу вспененные полимеры — пенополиуретан, латексы и прочее). Поэтому в результате проводимых экспериментов, согласно стандартным и разрабатываемым методикам испытаний, при продолжительности действия пламени горелки 20 с для мягких элементов мебели и 15 с для матрасов наружный слой изделий (чехол или обивка) начинал воспламеняться, вовлекая в процесс прогрессирующего горения (тления) нижние составляющие элементы изделия (наполнители, прокладки и т.д.).

С использованием источника зажигания «тлеющая сигарета» в течение 15 мин прямого контакта с поверхностью образцов испытанных изделий мягкой мебели с присутствием в их композициях легковозгораемых материалов склонность к горению или тлению выявлена не была.

Разницу в результатах испытаний как элементов мягкой мебели, так и матрасов можно объяснить различием мощности теплового воздействия, создаваемого используемыми источниками зажигания — пламенем газовой горелки и тлеющей сигареты. На основании требований, предъявляемых к источникам зажигания, согласно ГОСТ Р 53294⁶, расчетная тепловая мощность пламени горелки составляет величину порядка 77 Дж/с, тогда как тепловая мощность тлеющей сигареты в течение 15 мин равна 14 Дж/с.

Кроме того, важное значение при термической деструкции испытуемого образца имеют теплофизические (теплопроводность, теплоемкость, плотность, условия протекания процесса и другое) и химические свойства (химический состав волокон, структура, состав возможных технологических обработок) материалов, а также их компоновка в композиции мягкой мебели.

⁹ ТР ЕАЭС 043/2017. О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения.

Результаты проведенных сравнительных экспериментальных исследований по оценке устойчивости к воспламенению образцов матрасов от различных маломощных источников теплового воздействия — тлеющей сигареты и тлеющей сигареты, покрытой прокладкой из хлопчатобумажной (ХБ) ваты, показали следующее. От воздействия тлеющей сигареты не проявил склонности к тлению или горению ни один из испытанных образцов матрасов с композиционным сочетанием всех легковоспламеняемых элементов (чехол, обивочный и прокладочные материалы, наполнители). В опытах с воздействием на образцы матрасов тлеющей сигаретой, покрытой прокладкой из ХБ ваты, прогрессирующее тление наблюдалось у испытанных образцов, в состав которых при определенной компоновке входили натуральные наполнители (кокосовое или бамбуковое волокно, ХБ вата и другое).

На рис. 1 и 2 для сравнения представлены принципиальные схемы распределения составляющих теплового потока от источников зажигания при открытом источнике (тлеющая сигарета) и источнике с покрывным материалом (тлеющая сигарета с прокладкой из ХБ ваты).

Разницу в результатах испытаний можно объяснить тем, что большая часть тепловой энергии от источника зажигания «тлеющая сигарета» выделяется в окружающую среду, не оказывает существенного теплового воздействия на испытуемый образец (рис. 1), и, таким образом, не удается инициировать горение (тление) поверхности матраса, даже в случае применения легковозгораемых материалов.

При проведении испытаний с источником зажигания «тлеющая сигарета с покрывным материалом из ХБ ваты» (рис. 2) на испытуемую поверхность матраса передается значительно большая часть тепловой энергии, что обусловлено тем, что отток энергии в окружающую среду значительно ниже. В этом случае составляющие теплового потока от высокотемпературной зоны источника зажигания аккумулируются в поверхностном слое испытуемого образца изделия и покрывного материала (ХБ ваты), что обуславливает накопление тепловой энергии и, соответственно, повышение температуры этих материалов. Кроме того, покрывной материал, будучи горючим, становится дополнительным источником тепловой энергии, которая частично будет участвовать в повышении температуры в зоне расположения источника зажигания. В результате наблюдается более интенсивное повышение температуры, по сравнению с первым случаем (рис. 1), что способствует формированию очага горения испытуемого образца матраса.

Следует отметить, что оценка устойчивости к воспламенению матрасов с воздействием тлеющей сига-

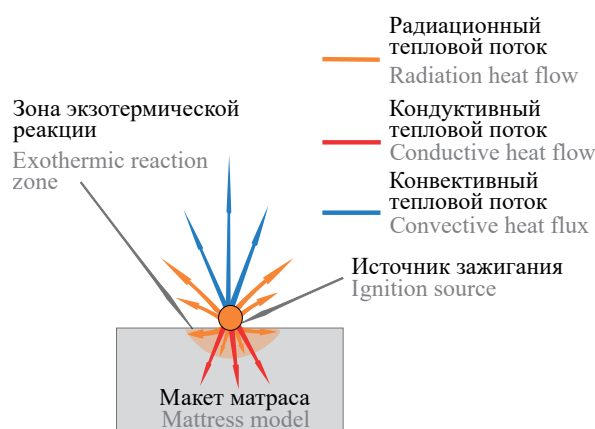


Рис. 1. Принципиальная схема распределения составляющих теплового потока от источника зажигания при открытом источнике

Fig. 1. Schematic diagram of the distribution of the components of the heat flow from the ignition source with an open source

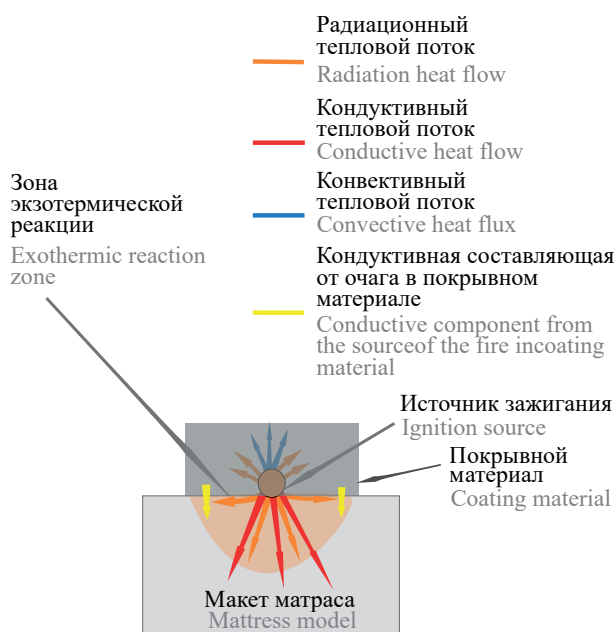


Рис. 2. Принципиальная схема распределения составляющих теплового потока от источника зажигания с покрывным материалом

Fig. 2. Schematic diagram of the distribution of the components of the heat flow from the ignition source with a coating material

реты, покрытой прокладкой из ХБ ваты, применяется для обеспечения безопасности на морских судах в Международном кодексе по применению процедур испытания на огнестойкость (Кодексе ПИО) для моделирования возможного тления постельных принадлежностей и является наиболее объективной.

В рамках апробации разработанного стандартного метода по оценке воспламеняемости матрасов были проведены экспериментальные исследования более 30 серийно выпускаемых моделей (пружинные и беспружинные, ортопедические, анатомические, медицинские, детские и другие), что позволило выя-

Таблица 2. Результаты испытаний образцов матрасов по оценке воспламеняемости с различными источниками зажигания
Table 2. Test results of mattress specimens for evaluation of flammability with different ignition sources

Композиционный состав материалов матраса и их основные характеристики Composition of materials mattress and their main characteristics	Результаты испытаний Test results	
	Источник зажигания — тлеющая сигарета Ignition source — smoldering cigarette	Источник зажигания — тлеющая сигарета с прокладкой из ХБ ваты Ignition source — smoldering cigarette with cotton wool lining
Матрас высокой жесткости с наполнителем на основе натурального кокосового волокна: съемный чехол: 100 ХБ, $p = 104 \text{ г/м}^2$; нетканый материал (спанбонд): 100 % ПП, $p = 98,4 \text{ г/м}^2$; кокосовая койра: $p = 834 \text{ г/м}^2$, $b = 8 \text{ мм}$; нетканый материал (синтепон): 100 % ПЭ, $p = 23,9 \text{ кг/м}^3$, $b = 70 \text{ мм}$ High rigidity mattress with natural coconut fibre filler: removable cover: 100 CP, $p = 104 \text{ g/m}^2$; nonwoven material (spun bond): 100 % PP, $p = 98,4 \text{ g/m}^2$; coconut coir: $p = 834 \text{ g/m}^2$, $b = 8 \text{ mm}$; nonwoven material (sintepon): 100 % PE, $p = 23.9 \text{ kg/m}^3$, $b = 70 \text{ mm}$	Сквозное прогорание ткани чехла, нетканого материала и первого слоя наполнителя размером $125 \times 135 \text{ мм}$. Горения и тления не наблюдалось Through-burning of cover fabric, nonwoven fabric and the first filler layer of size $125 \times 135 \text{ mm}$. Burning and smoldering were not observed	Прогрессирующее тление образца в течение 1 ч, применено принудительное тушение Progressive smoldering of the specimen for 1 hour, forced extinguishing was applied
Матрас ватный (ТУ 858-5758–2005. Изменение 1), $b = 80 \text{ мм}$: наполнитель — ХБ вата сорта «Швейная». ГОСТ 5679–91; несъемный чехол тик: хлопок 100 %, $p = 140 \text{ г/м}^2$ Cotton mattress (Specifications 858-5758–2005. Changes 1), $b = 80 \text{ mm}$: filler — cotton wool of the variety “Shveynaya”. GOST 5679–91; non-removable teak cover: cotton 100 %, $p = 140 \text{ г/м}^2$	Сквозное прогорание ткани чехла, карбонизация ее поверхности размером $64 \times 82 \text{ мм}$ и наполнителя размером $98 \times 90 \times 10 \text{ мм}$. Горения и тления не наблюдалось Through-burning of the cover fabric, carbonization of its surface with a size of $64 \times 82 \text{ mm}$ and filler with a size of $98 \times 90 \times 10 \text{ mm}$. Burning and smoldering were not observed	Прогрессирующее тление образца в течение 1 ч, применено принудительное тушение Progressive smoldering of the specimen for 1 hour, forced extinguishing was applied
Матрас ортопедический с наполнителем на основе бамбукового волокна: съемный чехол: ткань хлопок (50 %), полиэфир (50 %), $p = 834 \text{ г/м}^2$; нетканый материал (спанбонд): 100 % ПП, $p = 39 \text{ г/м}^2$; волокно бамбук: $p = 400 \text{ г/м}^2$, $b = 20 \text{ мм}$; термовойлок — иглопробивной нетканый материал из смеси волокон, поверхностной плотностью 300 г/м^2, толщиной 1,2 мм; пружинный блок — «Pocket» из независимых пружин высотой 140 мм Orthopedic mattress with bamboo fibre filler: removable cover: cotton fabric (50 %), polyester (50 %), $p = 834 \text{ г/м}^2$; nonwoven material (spun bond): 100 % PP, $p = 39 \text{ г/м}^2$; bamboo fibre: $p = 400 \text{ г/м}^2$, $b = 20 \text{ mm}$; thermo felt — needle-punched nonwoven fabric of fibre mixture, surface density 300 г/м^2, thickness 1.2 mm; spring block — “Pocket” from independent springs 140 mm high	Сквозное прогорание ткани чехла, нетканого материала и наполнителя размером $120 \times 100 \text{ мм}$. Горения и тления не наблюдалось Through-burning of cover fabric, nonwoven material and filler with size of $120 \times 100 \text{ mm}$. Burning and smoldering were not observed	Прогрессирующее тление образца в течение 1 ч, применено принудительное тушение Progressive smoldering of the specimen for 1 hour, forced extinguishing was applied

вить из их числа наиболее пожароопасные. В табл. 2 представлены сравнительные данные результатов испытаний некоторых видов образцов матрасов с указанием основных характеристик входящих в их композиции материалов (в том числе поверхностная плотность — ρ , толщина — δ) и с их зафиксированной степенью повреждения (длина, ширина, глубина).

У всех испытанных образцов в процессе испытаний при воздействии тлеющей сигареты, накрытой ХБ прокладкой в течение 35–40 мин, наблюдалось тление, сопровождающееся усиливающимся со временем дымообразованием. При заключительном осмотре (продолжительность каждого испытания составляла 1 ч) и разборке образцов матрасов было обнаружено прогрессирующее тление, переходящее в пламенное горение, после чего было применено принудительное тушение.

Результаты представленных испытаний позволили установить наиболее объективный способ оценки воспламеняемости матрасов с использованием источника зажигания — тлеющей сигареты с накладкой из ХБ ваты, имитирующего присутствие постельных принадлежностей, и наряду с этим возможность выявить наиболее пожароопасные композиции изделий.

При использовании изделий мягкой мебели в гостиничном секторе или зрительных залах особенно важно иметь информацию о ее пожарной опасности, поэтому в сопроводительных документах и (или) маркировке целесообразно указывать степень устойчивости к воспламенению от воздействия мало-мощных источников зажигания.

В настоящее время имеется отечественный опыт разработки текстильных материалов, в том числе для изделий мягкой мебели пониженной пожарной опасности [17–19]. Например, серийно выпускаемые судовые матрасы, получившие одобрение Российского морского регистра судоходства, предусматривают использование трудновоспламеняемых обивочных тканей или чехлов и прокладочного нетканого материала, отделяющихся от последующих легковоспламеняемых элементов в композиции, обеспечивающих требуемые эксплуатационные свойства изделия.

Результаты экспериментальных исследований, проводимые авторами согласно ГОСТ Р 53294⁶ (п. 5 — источники зажигания сигарета и газовая горелка), показали возможность получения устойчивых к воспламенению композиций диванов за счет определенного сочетания в них материалов, в том числе огнезащитной функции прокладочного слоя, препятствующего воспламенению наполнителя и распространению пламени по поверхности [20].

Многообразие ассортимента мебельной продукции в зависимости от эксплуатационного назначения предусматривает использование различных по составу и количеству современных материалов и технологий их сборки, поэтому оценку их устойчивости к воспламенению возможно производить экспериментальным путем только в отношении определенной модели.

Заключение

Таким образом, в ходе выполнения проведенных исследований решены следующие основные задачи:

- выявлена возможность использования существующих и разрабатываемых стандартных методов испытаний текстильных изделий для их классификации по устойчивости к воспламенению;
- установлена необходимость стандартного установления порядка проведения огнезащиты текстильных материалов и изделий в обеспечение ТР ЕАЭС 043/2017⁹;
- показана необходимость включения в нормативные документы критериев оценки соответствия требованиям пожарной безопасности текстильных изделий (шторы, занавеси, мягкая мебель и прочее), применяемых в зальных помещениях и гостиничных объектах, для снижения риска возникновения пожара;
- экспериментально обоснованы теплопроизводительность и вид источников зажигания для стандартной оценки устойчивости к воспламенению элементов мягкой мебели и матрасов;
- показано, что к наиболее пожароопасным изделиям мягкой мебели относятся композиции из натуральных материалов, используемые в основном в качестве чехлов, обивки и наполнителей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Муслакова С.В., Константинова Н.И., Присадков В.И. Возможность использования риск-ориентированного подхода для учета пожарной безопасности гостиниц при присвоении категории // Безопасность труда в промышленности. 2022. № 6. С. 75–80. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-6-75-80
2. Полехин П.В., Козлов А.А., Грибанов А.М., Сибирко В.И., Гончаренко В.С. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году : информ.-аналитич. сб. Балашиха : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. 80 с.
3. Guillaume E., de Feijter R., van Gelderen L. An overview and experimental analysis of furniture fire safety regulations in Europe // Fire and materials. 2020. Vol. 44. No. 5. Pp. 624–639.

4. Kolb T., Plaga S., Uhde M. Fire-safety requirements for textiles, furniture and mattresses in public facilities. What requirements exist and how can these be fulfilled? Final report by Fraunhofer Institute for Wood Research. I, Braunschweig, 2024. 180 p.
5. Константинова Н.И., Зубань А.В. О требованиях к проведению огнезащиты текстильных материалов // Безопасность труда в промышленности. 2022. № 1. С. 57–62. DOI: 10.24000/0409-2961-2022
6. Константинова Н.И., Зубань А.В., Булгакова А.А. Совершенствование методологического подхода к оценке пожарной опасности матрасов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. № 31 (2). С. 22–32. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.22-32
7. Константинова Н.И., Зубань А.В. К вопросу пожаробезопасного применения текстильных изделий в общественных зданиях // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. XXXVI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 375-й годовщине образования пожарной охраны России. М., 2024. С. 394–398.
8. Константинова Н.И., Зубань А.В. Особенности подтверждения соответствия требованиям пожарной безопасности средств огнезащиты для текстильных материалов // Огнезащита материалов и конструкций : сб. тезисов докладов I Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2023. С. 101–103.
9. Lock A. Memoranda on full-scale upholstered furniture testing, 2014–2015 // Linda Fansler, Division of Engineering. 2016.
10. McKenna S.T., Hull T.R. The fire toxicity of polyurethane foams // Fire Science Reviews. 2016. Vol. 5. Pp. 1–27.
11. Зубкова Н.С., Нагановский Ю.К. Исследование токсичности продуктов горения тканей, используемых для изготовления пожаробезопасной спецодежды // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2014. № 1 (150). С. 209–213.
12. Kallonen R., Von Wright A., Tikkanen L., Kaustia K. The toxicity of fire effluents from textiles and upholstery materials // Advances in Combustion Toxicology. Vol. 1. CRC Press, 2023. С. 282–297.
13. Пузач С.В., Константинова Н.И., Акперов Р.Г., Овчинников А.О. Исследование параметров токсичности продуктов горения мягких элементов мебели // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 1. С. 51–59. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.01.51-59
14. Hagen R., Karemake M., Larsson I., Hörnqvist A. et al. Fire safety of upholstered furniture and mattresses in the domestic area. 2017.
15. Butry D.T., Thomas D.S. Cigarette fires involving upholstered furniture in residences: the role that smokers, smoker behavior, and fire standard compliant cigarettes play // Fire technology. 2017. Vol. 53. Pp. 1123–1146.
16. Zammarano M., Hoehler M.S., Shields J.R., Thompson A.L. et al. Full-scale experiments to demonstrate flammability risk of residential upholstered furniture and mitigation using barrier fabric. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2020.
17. Аль К.Х.А., Вассоф С.А., Бесшапошникова В.И., Осипова М.Л. и др. Снижение горючести текстильных материалов из смеси волокон // Всеросс. науч. конф. с междунар. участ., посвящ. 110-летию со дня рождения проф. Ф.Х. Садыковой : сб. науч. тр. конф. М., 2023. С. 211–214.
18. Воронжева П.А., Осипова М.Л., Барыкин Д.И., Дамирова И., Бесшапошникова В.И. Анализ ассортимента и исследование структуры и свойств мебельных тканей для интерьера и общественного транспорта // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности : сб. мат. Всеросс. науч. конф. молодых исследователей с междунар. участ. М., 2023. С. 162–166.
19. Сапронова Т.В., Бесшапошникова В.И., Аль К.Х.А., Вассоф С.А. и др. Огнезащитная модификация целлюлозных тканей // Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология : сб. мат. IX Междунар. конф. Энгельс, 2022. С. 195–198.
20. Konstantinova N.I., Erofeev O.O. Development of materials for upholstered furniture elements of reduced fire hazard // Fibre chemistry. 2022. Vol. 54. No. 4. Pp. 258–262. DOI: 10.1007/s10692-023-10389-8

REFERENCES

1. Muslakova S.V., Konstantinova N.I., Prisdakov V.I. Possibility of using a risk-based approach for accounting fire safety of the hotels when assigning a category. *Occupational Safety in Industry*. 2022; 6:75-80. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-6-75-80 (rus).
2. Polexin P.V., Kozlov A.A., Gribanov A.M., Sibirko V.I., Goncharenko V.S. *Fires and fire safety in 2022 : inform.-analytical collection*. Balashikha, VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2023; 80. (rus).
3. Guillaume E., de Feijter R., van Gelderen L. An overview and experimental analysis of furniture fire safety regulations in Europe. *Fire and materials*. 2020; 44(5):624-639.
4. Kolb T., Plaga S., Uhde M. *Fire-safety requirements for textiles, furniture and mattresses in public facilities. What requirements exist and how can these be fulfilled? Final report by Fraunhofer Institute for Wood Research*. I, Braunschweig, 2024; 180.

5. Konstantinova N.I., Zuban A.V. About the requirements for conducting fire protection of textile materials. *Occupational Safety in Industry*. 2022; 1:57-62. DOI: 10.24000/0409-2961-2022 (rus).
6. Konstantinova N.I., Zuban A.V., Bulgakova A.A. Improvement of methodological approach to assessment of fire hazard of mattresses. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(2):22-32. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.22-32 (rus).
7. Konstantinova N.I., Zuban A.V. On the issue of fire-safe use of textile products in public buildings. *Abstracts of Current problems of fire safety : materials of the XXXVI International Scientific and Practical Conference dedicated to the 375th anniversary of the formation of the fire protection of Russia*. Moscow, 2024; 394-398. (rus).
8. Konstantinova N.I., Zuban A.V. Features of confirming compliance with fire safety requirements of fire protection products for textile materials. *Fire protection of materials and structures : collection of abstracts of the I International scientific and practical conference*. St. Petersburg, 2023; 101-103. (rus).
9. Lock A. Memoranda on full-scale upholstered furniture testing, 2014–2015. *Linda Fansler, Division of Engineering*. 2016.
10. McKenna S.T., Hull T.R. The fire toxicity of polyurethane foams. *Fire Science Reviews*. 2016; 5:1-27.
11. Zubkova N.S., Naganovskij Yu.K. Research on the toxicity of products of burning fabrics used for the manufacturing of fireproof protective clothing. *Proceedings of the Southern Federal University. Technical sciences*. 2014; 1(150):209-213. (rus).
12. Kallonen R., Von Wright A., Tikkanen L., Kaustia K. The toxicity of fire effluents from textiles and upholstery materials. *Advances in Combustion Toxicology. Vol. 1*. CRC Press, 2023; 282-297.
13. Puzach S.V., Konstantinova N.I., Akperov R.G., Ovchinnikov A.O. Investigation of toxicity parameters of combustion products of upholstered furniture elements. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(1):51-59. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.01.51-59 (rus).
14. Hagen R., Karemake M., Larsson I., Hörnqvist A. et al. *Fire safety of upholstered furniture and mattresses in the domestic area*. 2017.
15. Butry D.T., Thomas D.S. Cigarette fires involving upholstered furniture in residences: the role that smokers, smoker behavior, and fire standard compliant cigarettes play. *Fire technology*. 2017; 53:1123-1146.
16. Zammarano M., Hoehler M.S., Shields J.R., Thompson A.L. et al. *Full-scale experiments to demonstrate flammability risk of residential upholstered furniture and mitigation using barrier fabric*. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2020.
17. Al K.X.A., Vassof S.A., Besshaposhnikova V.I., Osipova M.L. et al. Reducing the combustibility of textile materials from a mixture of fibers. *All-Russian scientific conference with international participation dedicated to the 110th anniversary of the birth of Prof. F.H. Sadykova : collection of scientific papers of the conference*. Moscow, 2023; 211-214. (rus).
18. Voronzheva P.A., Osipova M.L., Barykin D.I., Damirova I., Besshaposhnikova V.I. Analysis of the assortment and study of the structure and properties of furniture fabrics for interior and public transport. *Innovative development of machinery and technologies in industry : collection of materials of the All-Russian scientific conference of young researchers with international participation*. Moscow, 2023; 162-166 (rus).
19. Sapronova T.V., Besshaposhnikova V.I., Al K.X.A., Vassof S.A. et al. Fire-resistant modification of cellulose fabrics. *Promising polymer composite materials. Alternative technologies. Recycling. Application. Ecology : collection of materials of the IX International Conference*. Engels, 2022; 195-198. (rus).
20. Konstantinova N.I., Erofeev O.O. Development of materials for upholstered furniture elements of reduced fire hazard. *Fibre Chemistry*. 2022; 54(4):258-262. DOI: 10.1007/s10692-023-10389-8

Поступила 28.08.2024, после доработки 26.09.2024;

принята к публикации 02.10.2024

Received August 28, 2024; Received in revised form September 26, 2024;

Accepted October 2, 2024

Информация об авторах

КОНСТАНТИНОВА Наталия Ивановна, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; РИНЦ ID: 774306; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

Information about the authors

Nataliya I. KONSTANTINOVA, Dr. Sci. (Eng.), Professor, principle researcher, 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; ID RSCI: 57195464313; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

ЗУБАНЬ Андрей Владимирович, к.т.н., начальник отдела, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; ResearcherID: AAB-9575-2019; Scopus AuthorID: 55847911600; ORCID: 0000-0002-7799-2058; e-mail: avzuban@mail.ru

ПОЕДИНЦЕВ Евгений Александрович, начальник сектора, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; РИНЦ ID: 760768; ORCID: 0000-0003-2769-0278; e-mail: evgeny@poedintsev.ru

КРИВОШАПКИНА Ольга Викторовна, начальник сектора, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; РИНЦ ID: 1161085; ORCID: 0009-0002-794-5210; e-mail: olga.krivoshapkina16@gmail.com

Вклад авторов:

Константинова Н.И. — научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; итоговые выводы.

Зубань А.В. — концепция исследования; развитие методологии; доработка текста; итоговые выводы.

Поединцев Е.А. — развитие методологии; доработка текста; итоговые выводы.

Кривошапкина О.В. — развитие методологии; доработка текста; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Andrey V. ZUBAN, Cand. Sci. (Eng.), head of department, 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; ResearcherID: AAB-9575-2019; Scopus AuthorID: 55847911600; ORCID: 0000-0002-7799-2058; e-mail: avzuban@mail.ru

Evgenij A. POEDINTSEV, chief of Sector, 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; ID RSCI: 760768; ORCID: 0000-0003-2769-0278; e-mail: evgeny@poedintsev.ru

Olga V. KRIVOSHAPKINA, chief of Sector, 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; ID RSCI: 1161085; ORCID: 0009-0002-794-5210; e-mail: olga.krivoshapkina16@gmail.com

Contribution of the authors:

Konstantinova N.I. — scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Zuban A.V. — research concept; methodology development; follow-on revision of the text; final conclusions.

Poedinsev E.A. — methodology development; follow-on revision of the text; final conclusions.

Krivoshapkina O.V. — methodology development; follow-on revision of the text; final conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.

Расчет оптимального пути эвакуации из национального парка «Красноярские столбы» при лесном пожаре

Сергей Николаевич Масаев, Виктория Александровна Шнайдер ✉

Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева (СибГУ им. акад. М.Ф. Решетнева), г. Красноярск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Национальный парк «Красноярские столбы» (парк) — популярное место отдыха, привлекающее множество туристов со всего мира. Нахождение парка в лесном массиве делает его уязвимым для лесных пожаров. Памятка туристу о правилах пожарной безопасности указывает не попадать в огненное кольцо или не находиться на пути распространения серьезного лесного пожара. Процесс обеспечения пожарной безопасности туристов в парке не рассматривался в рамках ФЗ от 24.11.1996 № 132-ФЗ (ред. от 13.06.2023) «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации». Закон в ст. 7 прямо указывает, что турист обязан соблюдать во время путешествия правила личной безопасности, но и определяет список служб МЧС, которые будут заниматься спасением туриста при ЧС. В связи с этим для обеспечения личной безопасности туриста актуально разработать оптимальные пути эвакуации и оповестить о них в случае лесного пожара. Сохранение жизни и здоровья человека является первостепенной задачей государства.

Цели и задачи. Исследование ставит перед собой задачу определить наиболее быстрый, следовательно, безопасный путь эвакуации из парка, учитывая особенности рельефа, расстояние до безопасных зон и множество пересечений троп. Целью данного исследования является проведение расчетов оптимального пути эвакуации из национального парка «Красноярские столбы» при возникновении лесного пожара с учетом территориальных особенностей и препятствий. Оптимальный путь эвакуации существует при достаточных условиях оптимальности, определяемых из решения оптимизационной задачи в реальном времени при фактическом обнаружении лесного пожара.

Методы. Для достижения поставленной цели фактического решения оптимизационной задачи с достаточными условиями оптимальности реализован алгоритм в разработанной программе ЭВМ, находящий кратчайшие маршруты эвакуации. Для решения поставленной задачи был использован алгоритм расчета Дейкстры, позволяющий находить кратчайшие пути на графе. В рамках исследования территория национального парка моделируется в виде графа, где вершины — это ключевые точки (смотровые площадки, развилки троп, выходы к дорогам), а ребра — тропы и дороги, соединяющие эти точки.

Результаты. В результате исследования рассчитан и проложен маршрут, отражающий оптимальное расстояние эвакуации на карте местности, что позволяет в случае лесного пожара и его распространения эффективно самозэвакуироваться туристам, т.е. обеспечить свою личную безопасность. Следовательно, службы МЧС могут организовать процесс эвакуации туристов, т.е. сделать процесс туриста по обеспечению своей личной безопасности оптимальным.

Выводы. Рассчитанные оптимальные пути эвакуации из национального парка «Красноярские столбы» при лесном пожаре представляют собой важный инструмент для обеспечения личной безопасности туристов и персонала парка. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации системы оповещения, эвакуации и подготовки к чрезвычайным ситуациям в будущем.

Ключевые слова: алгоритм расчета Дейкстры; граф; особенности рельефа; пропускная способность троп; безопасность посетителей и персонала

Для цитирования: Масаев С.Н., Шнайдер В.А. Расчет оптимального пути эвакуации из национального парка «Красноярские столбы» при лесном пожаре // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 6. С. 26–47. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.26-47

✉ Шнайдер Виктория Александровна, e-mail: shnayder.01@mail.ru

Calculation of the optimal escape route from the “Krasnoyarsk Pillars” National Park in case of a forest fire

Sergey N. Masaev, Victoria A. Shnayder ✉

Siberian State University of Science and Technology named after acad. M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The “Krasnoyarsk Pillars” National Park is a popular holiday destination that attracts many tourists from all over the world. The park’s location in a forest makes it vulnerable to forest fires. A tourist memo on fire

safety rules indicates not to get into a ring of fire or to be in the path of a serious forest fire. The process of ensuring fire safety for tourists in the Park was not considered within the framework of the Federal Law of 24.11.1996 No. 132-FZ (as amended on 13.06.2023) "Fundamentals of Tourist Activity in the Russian Federation". The law in Art. 7 directly indicates that a tourist is obliged to observe personal safety rules during the trip, but also defines the list of Emergency Services that will be involved in rescuing a tourist in an emergency. In this regard, in order to ensure the personal safety of a tourist, it is important to develop optimal evacuation routes and notify about them in the event of a forest fire. Preserving human life and health is a primary task of the State.

Aims and objectives. The study aims to determine the fastest and therefore safest, evacuation route from the Park, taking into account the terrain features, distance to safe zones and multiple intersections of trails. The purpose of this study is to calculate the optimal evacuation route from the "Krasnoyarsk Pillars" National Park in the event of a forest fire, taking into account territorial features and obstacles. The optimal evacuation route exists under sufficient optimality conditions determined from the solution of the optimization problem in real time upon actual detection of a forest fire.

Methods. Achieving the set purpose is realized by an algorithm in the developed computer programme. It finds the shortest evacuation routes by solving the optimization problem of determining the minimum. To solve the problem, Dijkstra's algorithm is used to find the shortest paths in the graph. As part of the research, the territory of the national park is modelled as a graph. The vertices of the graph are key points (lookout points, forks in paths, exits to roads), and the edges are paths and roads connecting these points.

Results. As a result of the research, a route was calculated and laid out, reflecting the optimal evacuation distance on the map of the area, which allows visitors to effectively evacuate themselves in the event of a forest fire so ensure their personal safety. Consequently, the Ministry of Emergency Situations can organize the evacuation process of tourists so make the tourist's process of ensuring their personal safety optimal.

Conclusions. The optimal evacuation routes from the "Krasnoyarsk Pillars" National Park in case of a forest fire are calculated. This is an important tool for ensuring the personal safety of tourists and park employees. The results of the research can be used to optimize warning, evacuation and preparation for emergency situations in the future.

Keywords: Dijkstra's calculation algorithm; graph; topographic features; trail capacity; security of visitors and staff

For citation: Masaev S.N., Shnayder V.A. Calculation of the optimal escape route from the "Krasnoyarsk Pillars" National Park in case of a forest fire. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(6):26-47. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.26-47 (rus).

✉ Victoria Alexandrovna Shnayder, e-mail: shnayder.01@mail.ru

Введение

На протяжении многих лет национальный парк «Красноярские столбы» (далее — парк) привлекает туристов со всего мира своими уникальными природными достопримечательностями, великолепными видами и возможностями для активного отдыха.

Определение понятия «турист» дает закон¹.

В связи с растущей угрозой лесных пожаров в национальном парке «Красноярские столбы» возникает необходимость поиска наиболее короткого пути эвакуации для обеспечения безопасности туристов в случае чрезвычайной ситуации (ЧС) [1].

Лесные пожары — это одно из наиболее опасных природных явлений, способное быстро распространяться и уничтожать все на своем пути. Могут представлять серьезную угрозу как для живой природы парка, так и для туристов, находящихся на его территории [2, 3].

На практике безопасность людей должна обеспечиваться согласно ФЗ² и методике³, при соблюдении критериев своевременности и беспрепятственности

их эвакуации, подразумевает их выход из опасной зоны. Например, из горящего здания до наступления критических значений опасных факторов пожара. Данные правовые акты, дающие возможность оценить все факторы в вероятностных сценариях эвакуации людей, и своевременные проверки органами ГПС МЧС обеспечивают гарантию срабатывания систем оповещения о пожаре, своевременного прибытия для тушения пожара, срабатывания систем тушения пожара, возможности беспрепятственно воспользоваться эвакуационными выходами.

Законодательно безопасность туристов парка обеспечивают службы МЧС исходя из следующих правовых актов: ФЗ № 132¹, распоряжение Правительства РФ⁴, Постановление Правительства РФ⁵.

На практике существуют общие рекомендации поведения в лесу, где содержится указание покинуть лес в случае серьезного лесного пожара или ЧС, а схема эвакуации людей из парка не разработана. Разработка сценариев плана эвакуации людей из парка (их математической модели) на данном этапе исследу-

¹ Об основах туристской деятельности в Российской Федерации : ст. 1 ФЗ от 24.11.1996 № 132-ФЗ (ред. от 13.06.2023).

² Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : ФЗ от 22.07.2008 № 123-ФЗ.

³ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности : Приказ МЧС России от 14 ноября 2022 г. № 1140.

⁴ Об утверждении перечня видов туристских маршрутов, требующих сопровождения инструктором-проводником, категорий их сложности и критериев отнесения туристского маршрута к соответствующей категории сложности, в том числе с учетом обеспечения безопасности туристов : Распоряжение Правительства РФ от 05.04.2022 № 744-р.

⁵ О силах и средствах единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : Постановление Правительства РФ от 8 ноября 2013 г. № 1007.

дования невозможна в силу ограниченного исследовательского ресурса учета факторов:

- фактического количества туристов в парке;
- миграции хищников при пожаре вдоль троп (при пожарах в Иркутской области отмечены факты миграции медведей крупными группами с расстоянием между хищниками в сто метров);
- уровня знания туристами о навыках выживания и умения ориентироваться в лесу;
- наличия сети неофициальных тропинок и частоты их использования (относительно свежие тропинки, заново натоптанные людьми или зверями);
- вероятности, что человек пойдет напролом вне троп и заблудится;
- пола, контингента и возраста туристов;
- сложности рельефа парка (предгорье Саян, ручьи, обрывы, овраги, реки, буреломы, кустарник, высокая трава, болотины);
- влияния сезонности, от которой зависят: частота посещения, высота и густота растительности, роза ветров.

Ситуация по учету количества туристов парка осложняется тем, что туристы, кроме официальных делегаций, пренебрегают правилом регистрации в службе МЧС своих маршрутов, времени пребывания в парке, обозначением контрольных точек и времени выхода из парка.

Закон обязывает туристов парка регистрироваться, но не наказывает за отказ от нее. Кроме того, никто не будет отговаривать посещать парк даже при сложных метеоусловиях, если туристы решительно нацелены на маршрут. Почему? Потому что в вышеприведенном ФЗ¹ в ст. 7 указано, что турист обязан соблюдать во время путешествия правила личной безопасности. Личная безопасность считается обеспеченной в парке, если не произошло вреда здоровью туриста от времени начала нахождения в парке до момента времени покидания им парка.

В сложившейся ситуации для обеспечения безопасности туристов парка со стороны МЧС, вместо критериев «своевременность» и «беспрепятственность» эвакуации людей³, достаточным условием будет своевременное оповещение о начале лесного пожара и сообщение им кратчайшего маршрута до ближайшего выхода из парка или точки эвакуации, т.е. обеспечение туристам «личной безопасности».

Стоит отметить, что понятие «личная безопасность» туриста при лесном пожаре не равно понятию «безопасная зона», пока турист находится в парке. Риск потери здоровья или смерти от факторов погоды, рельефа местности, диких зверей и т.д. сохраняется до момента выхода из парка.

Целью данного исследования является расчет оптимального пути эвакуации из национального парка «Красноярские столбы» при лесном пожаре с исполь-

зованием алгоритма Дейкстры в разработанной программе ЭВМ для своевременного оповещения туристов парка и обеспечения их «личной безопасности».

В данном исследовании оптимальным для эвакуации признается наличие минимального расстояния по тропинкам от места нахождения туриста до безопасной зоны. Получение этого пути от служб МЧС помогает туристам парка максимально обеспечить свою личную безопасность с учетом множества сложных пересечений тропинок за минимальное время, т.е. возможность быстрой эвакуации при лесном пожаре или ЧС. Под минимальным временем понимается время, потраченное на короткую дорогу, обозначенную в оповещении, до зоны безопасности без потерь времени на излишний или ложный путь. Безопасной зоной в приоритете ставится выход из парка при оповещении о начале лесного пожара, но не исключает его оповещения для сохранения фактического расположения туриста в парке до момента эвакуации силами МЧС. Признание выбранного маршрута для эвакуации оптимальным на разных траекториях его выполнения туристом обеспечивается существованием достаточных условий [4]. На практике это означает, что вероятностную модель сценария эвакуации, которая из-за сложной природы взаимодействия факторов является труднореализуемой стохастической системой, успешно решают по ее текущим параметрам (фактическим данным) как оптимизационную задачу поиска минимальных точек.

Личная безопасность туриста максимально обеспечивается службой МЧС только в его конечной точке эвакуации или выхода из парка.

В конечном итоге разработка оптимальных путей эвакуации из национального парка «Красноярские столбы» при лесном пожаре будет способствовать повышению уровня безопасности туристов и персонала парка за счет обеспечения их «личной безопасности», сохранению природной среды и уменьшению потенциального ущерба от других чрезвычайных ситуаций (ЧС) [5–7].

Подготовка данных

Оптимальный путь эвакуации рассчитывался на основе таблицы расстояний. Составление таблицы расстояний выполнялось в геоинформационной системе 2GIS, которая позволяет точно определять координаты и расстояния между объектами на местности [8–10].

Для дальнейших расчетов таблица была представлена в виде матрицы смежности. Матрица смежности позволяет легко представить информацию о связях между вершинами графа в виде двумерной матрицы, где элементы указывают наличие или отсутствие ребра между вершинами [11, 12].

В результате была составлена табл. 1, в которой отражены расстояния основных троп (в метрах) между популярными достопримечательностями

парка. Также в таблицу занесены широта и долгота каждой достопримечательности, что облегчает навигацию и ориентирование на местности.

Таблица 1. Расстояние между достопримечательностями

Table 1. The distance between the sights

Широта и долгота Latitude and longitude	Начальная точка The starting point	Конечная точка The final point	Расстояние от начальной точки до конечной, м Distance from starting point to ending point, m
55,895987 92,747721	Скала Манская стенка Rock Manskaya wall	Скала Манская баба Rock Manskaya woman	400
		Скала Каин и Авель Rock Cain and Avel	1200
55,893514 92,749214	Скала Манская баба Rock Manskaya woman	Скала Манская стенка Rock Manskaya wall	400
		Скала Каин и Авель Rock Cain and Avel	1500
55,902793 92,740222	Скала Каин и Авель Rock Cain and Avel	Скала Манская стенка Rock Manskaya wall	1200
		Скала Манская баба Rock Manskaya woman	1500
		Скала Ферма Rock Farm	1100
55,909108 92,739969	Скала Ферма Rock Farm	Скала Каин и Авель Rock Cain and Avel	1100
		Скала 3-й столб Rock 3rd pillar	500
		Скала Предтеча Rock Forerunner	1000
		Скала 4-й столб Rock 4rd pillar	500
55,910824 92,732379	Скала Митра Rock Mitra	Скала 2-й столб Rock 2rd pillar	300
		Скала Капелла Rock Chapel	250
55,913088 92,741938	Скала 3-й столб Rock 3rd pillar	Скала Ферма Rock Farm	500
		Скала Предтеча Rock Forerunner	1000
		Скала 1-й столб Rock 1rd pillar	600
		Скала 4-й столб Rock 4rd pillar	150
		Скала Перья Rock Feathers	500
55,913158 92,751592	Скала Предтеча Rock Forerunner	Скала Ферма Rock Farm	1000
		Скала 3-й столб Rock 3rd pillar	1000
		Скала 4-й столб Rock 4rd pillar	700
		Скала Первенец Rock Firstborn	200
		Скала Перья Rock Feathers	900

Широта и долгота Latitude and longitude	Начальная точка The starting point	Конечная точка The final point	Расстояние от начальной точки до конечной, м Distance from starting point to ending point, m
55,918031 92,729906	Перевал Снежный кофе Snow Coffee pass	Беркутовский ручей Berkutovsky stream	200
		Скала Слоник Rock Elephant	350
		Скала Дед Rock Grandfather	1500
55,916899 92,724560	Кордон Нарым Крутовской Е.А. Cordon Narym Krutovskaya E.A.	Беркутовский ручей Berkutovsky stream	400
55,916401 92,729114	Беркутовский ручей Berkutovsky stream	Перевал Снежный кофе Snow Coffee pass	200
		Кордон Нарым Крутовской Е.А. Cordon Narym Krutovskaya E.A.	400
55,916192 92,733468	Скала Слоник Rock Elephant	Перевал Снежный кофе Snow Coffee pass	350
		Скала 1-й столб Rock 1rd pillar	300
		Скала Бабка Rock Granny	500
55,916008 92,734941	Скала 1-й столб Rock 1rd pillar	Скала 3-й столб Rock 3rd pillar	600
		Скала Слоник Rock Elephant	300
		Скала 2-й столб Rock 2rd pillar	500
		Скала Перья Rock Feathers	800
		Скала Бабка Rock Granny	450
55,913032 92,732345	Скала 2-й столб Rock 2rd pillar	Скала Митра Rock Miter	300
		Скала 1-й столб Rock 1rd pillar	500
55,908636 92,732220	Скала Капелла Rock Chapel	Скала Митра Rock Miter	250
55,912638 92,742835	Скала 4-й столб Rock 4rd pillar	Скала Ферма Rock Farm	500
		Скала 3-й столб Rock 3rd pillar	150
		Скала Предтеча Rock Forerunner	700
		Скала Перья Rock Feathers	500
55,913617 92,753424	Скала Первенец Rock Firstborn	Скала Предтеча Rock Forerunner	200
		Скала Городская видовка Rock City view	1500
		Скала Медея Rock Medea	4000
		Скала Китайская стенка, вход № 2 Rock China Wall, entrance No. 2	5000

Продолжение табл. 1 / Continue of the Table 1

Широта и долгота Latitude and longitude	Начальная точка The starting point	Конечная точка The final point	Расстояние от начальной точки до конечной, м Distance from starting point to ending point, m
55,923593 92,756641	Скала Городская видовка Rock City view	Скала Первенец Rock Firstborn	1500
		Скала Монах Rock Monk	600
55,927412 92,759793	Скала Монах Rock Monk	Скала Городская видовка Rock City view	600
		Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	700
55,932083 92,760925	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	Скала Монах Rock Monk	700
		Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	1500
		Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	6000
		Скала Чертов палец Rock Damn finger	5000
		Смотровая площадка К1 Observation platform K1	3000
		Выход в дачи № 1 Exit of cottage No. 1	5000
		Выход в дачи № 2 Exit of cottage No. 2	5000
		Выход в дачи № 3 Exit of cottage No. 3	5000
		Выход в дачи № 4 Exit of cottage No. 4	5000
		Нижняя станция: трасса для сноубордистов Lower station: snowboarding track	4000
		Верхняя станция Upper station	4000
55,939560 92,769559	Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	1500
		Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	5000
		Скала Чертов палец Rock Damn finger	4000
		Скала Воробушки Rock Sparrows	3000
		Скала Китайская стенка, вход № 2 Rock China Wall, entrance No. 2	4000

Широта и долгота Latitude and longitude	Начальная точка The starting point	Конечная точка The final point	Расстояние от начальной точки до конечной, м Distance from starting point to ending point, m
55,939560 92,769559	Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	Скала Малек Rock Malek	3000
		Скала Такмак Rock Takmak	3000
		Смотровая площадка K1 Observation platform K1	2500
		Выход в дачи № 1 Exit of cottage No. 1	5000
		Выход в дачи № 2 Exit of cottage No. 2	5000
		Выход в дачи № 3 Exit of cottage No. 3	4000
		Выход в дачи № 4 Exit of cottage No. 4	4000
		Нижняя станция: трасса для сноубордистов Lower station: snowboarding track	3000
		Верхняя станция Upper station	3000
55,916948 92,744441	Скала Перья Rock Feathers	Верхняя станция B2 Top station B2	3000
		Скала 3-й столб Rock 3rd pillar	500
		Скала Предтеча Rock Forerunner	900
		Скала 1-й столб Rock 1rd pillar	800
		Скала 4-й столб Rock 4rd pillar	500
55,917625 92,739391	Скала Скиф Rock Scythian	Скала Скиф Rock Scythian	300
		Скала Дед Rock Grandfather	300
		Скала Слоник Rock Elephant	500
		Скала 1-й столб Rock 1rd pillar	450
55,918594 92,743141	Скала Бабка Rock Granny	Скала Скиф Rock Scythian	400
		Скала Дед Rock Grandfather	250
		Скала Перья Rock Feathers	300
55,919176 92,740724	Скала Дед Rock Grandfather	Скала Бабка Rock Granny	400
		Перевал Снежный кофе Snow Coffee pass	1500
55,919176 92,740724	Скала Дед Rock Grandfather	Скала Бабка Rock Granny	300
		Перевал Снежный кофе Snow Coffee pass	1500

Продолжение табл. 1 / Continue of the Table 1

Широта и долгота Latitude and longitude	Начальная точка The starting point	Конечная точка The final point	Расстояние от начальной точки до конечной, м Distance from starting point to ending point, m
55,919176 92,740724	Скала Дед Rock Grandfather	Скала Скиф Rock Scythian	250
		Скала Прадед Rock Great-grandfather	150
		Остановка Вторая поперечная Bus station Second transverse	2000
55,919858 92,741811	Скала Прадед Rock Great-grandfather	Скала Дед Rock Grandfather	150
		Скала Внук Rock Grandson	160
55,920998 92,741886	Скала Внук Rock Grandson	Скала Прадед Rock Great-grandfather	160
		Скала Дикарь Rock Savage	200
		Скала Дачки Rock Dachki	1100
		Скала Внук Rock Grandson	200
55,922232 92,740892	Скала Дикарь Rock Savage	Скала Дачки Rock Dachki	800
		Скала Дед Rock Grandfather	2000
55,934393 92,739492	Остановка Вторая поперечная Bus station Second transverse	Родник Живой ключик Spring Living Key	1500
		Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	2000
		Остановка Вторая поперечная Bus station Second transverse	1500
55,945601 92,743823	Родник Живой ключик Spring Living Key	Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	600
		Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	6000
		Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	5000
55,950723 92,745520	Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	Остановка Вторая поперечная Bus station Second transverse	2000
		Родник Живой ключик Spring Living Key	600
		Скала Чертов палец Rock Damn finger	1500
		Смотровая площадка K1 Observation platform K1	5000
		Выход в дачи № 3 Exit of cottage No. 3	3000
		Выход в дачи № 4 Exit of cottage No. 4	4000
		Нижняя станция: трасса для сноубордистов Lower station: snowboarding track	6000
		Верхняя станция Upper station	5000

Широта и долгота Latitude and longitude	Начальная точка The starting point	Конечная точка The final point	Расстояние от начальной точки до конечной, м Distance from starting point to ending point, m
55,963058 92,743078	Скала Чертов палец Rock Damn finger	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	5000
		Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	4000
		Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	1500
		Остановка Турбаза Bus station Camp Site	800
		Смотровая площадка К1 Observation platform K1	4000
		Нижняя станция: трасса для сноубордистов Lower station: snowboarding track	5000
		Верхняя станция Upper station	2000
55,938207 92,790966	Скала Воробушки Rock Sparrows	Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	3000
		Скала Цыпа Rock Chick	80
		Скала Китайская стенка, вход № 2 Rock China Wall, entrance No. 2	2800
		Скала Малек Rock Malek	2000
		Скала Такмак Rock Takmak	2000
		Верхняя станция В2 Top station B2	2000
55,932741 92,788809	Скала Медея Rock Medea	Скала Первенец Rock Firstborn	4000
		Скала Городская видовка Rock City view	4000
		Скала Снегирь Rock Bullfinch	300
		Скала Китайская стенка, вход № 2 Rock China Wall, entrance No. 2	4000
		Скала Бородок Rock Beard	5000
55,934629 92,786251	Скала Снегирь Rock Bullfinch	Скала Медея Rock Medea	300
		Скала Волчий лоб Rock Wolf forehead	400
55,937045 92,785109	Скала Волчий лоб Rock Wolf forehead	Скала Снегирь Rock Bullfinch	400
		Скала Олурган Rock Olurgan	300

Продолжение табл. 1 / Continue of the Table 1

Широта и долгота Latitude and longitude	Начальная точка The starting point	Конечная точка The final point	Расстояние от начальной точки до конечной, м Distance from starting point to ending point, m
55,938120 92,787867	Скала Олурган Rock Olurgan	Скала Волчий лоб Rock Wolf forehead	300
		Скала Жаворонок Rock Lark	200
		Скала Цыпа Rock Chick	200
55,938187 92,790320	Скала Жаворонок Rock Lark	Скала Олурган Rock Olurgan	200
		Скала Жаба Rock Toad	100
		Скала Цыпа Rock Chick	70
55,937688 92,790538	Скала Жаба Rock Toad	Скала Жаворонок Rock Lark	100
		Скала Гнездовье Rock Nesting	50
55,937243 92,790710	Скала Гнездовье Rock Nesting	Скала Жаба Rock Toad	50
55,938679 92,790227	Скала Цыпа Rock Chick	Скала Воробушки Rock Sparrows	80
		Скала Олурган Rock Olurgan	200
		Скала Жаворонок Rock Lark	70
55,934621 92,806267	Скала Китайская стенка, вход № 2 Rock China Wall, entrance No. 2	Скала Первенец Rock Firstborn	5000
		Скала Городская видовка Rock City view	5000
		Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	4000
		Скала Воробушки Rock Sparrows	2800
		Скала Медея Rock Medea	4000
		Скала Гранитный карьер Rock Granite quarry	2000
		Скала Такмак Rock Takmak	2000
		Скала Бородок Rock Beard	2000
55,945169 92,811635	Скала Ермак Rock Ermak	Ручей Моховой Mokhovoy stream	900
		Скала Бородок Rock Beard	250
55,950138 92,800845	Скала Малек Rock Malek	Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	3000
		Скала Воробушки Rock Sparrows	2000
		Скала Такмак Rock Takmak	450
		Выход в дачи № 5 Exit of cottage No. 5	2000
		Верхняя станция В2 Top station B2	650

Широта и долгота Latitude and longitude	Начальная точка The starting point	Конечная точка The final point	Расстояние от начальной точки до конечной, м Distance from starting point to ending point, m
55,949152 92,810442	Скала Гранитный карьер Rock Granite quarry	Скала Китайская стенка, вход № 2 Rock China Wall, entrance No. 2	2000
		Ручей Моховой Mokhovoy stream	150
55,949095 92,801359	Скала Такмак Rock Takmak	Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	3000
		Скала Воробушки Rock Sparrows	2000
		Скала Китайская стенка, вход № 2 Rock China Wall, entrance No. 2	2000
		Скала Малек Rock Malek	450
		Скала Бородок Rock Beard	2300
55,949071 92,786385	Верхняя станция К1, Канатная дорога K1 upper station, Cableway	Смотровая площадка К1 Observation platform K1	350
		Станция В2 Station B2	250
55,927581 92,746510	Скала Дачки Rock Dachki	Скала Внук Rock Grandson	1100
		Скала Дикарь Rock Savage	800
55,968300 92,744571	Остановка Турбаза Bus station Camp Site	Скала Чертов палец Rock Damn finger	800
55,950469 92,810906	Ручей Моховой Mokhovoy stream	Скала Ермак Rock Ermak	900
		Скала Гранитный карьер Rock Granite quarry	150
		Скала Бородок Rock Beard	1100
		Остановка Восточный вход Bus station East entrance	800
55,944394 92,814624	Скала Бородок Rock Beard	Скала Городская видовка Rock City view	7000
		Скала Медея Rock Medea	5000
		Скала Китайская стенка, вход № 2 Rock China Wall, entrance No. 2	2000
		Скала Ермак Rock Ermak	250
		Скала Такмак Rock Takmak	2300
		Ручей Моховой Mokhovoy stream	1100

Продолжение табл. 1 / Continue of the Table 1

Широта и долгота Latitude and longitude	Начальная точка The starting point	Конечная точка The final point	Расстояние от начальной точки до конечной, м Distance from starting point to ending point, m
55,947585 92,781205	Смотровая площадка K1 Observation platform K1	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	3000
		Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	2500
		Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	5000
		Скала Чертов палец Rock Damn finger	4000
		Верхняя станция K1, Канатная дорога K1 upper station, Cableway	350
		Выход в дачи № 1 Exit of cottage No. 1	4000
		Выход в дачи № 2 Exit of cottage No. 2	4000
		Выход в дачи № 3 Exit of cottage No. 3	4000
		Выход в дачи № 4 Exit of cottage No. 4	4000
		Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	5000
55,964761 92,742708	Выход в дачи № 1 Exit of cottage No. 1	Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	5000
		Смотровая площадка K1 Observation platform K1	4000
		Выход в дачи № 2 Exit of cottage No. 2	400
		Выход в дачи № 3 Exit of cottage No. 3	2500
		Выход в дачи № 4 Exit of cottage No. 4	3000
		Верхняя станция Upper station	2500
55,965569 92,747986	Выход в дачи № 2 Exit of cottage No. 2	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	5000
		Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	5000
		Смотровая площадка K1 Observation platform K1	4000
		Выход в дачи № 1 Exit of cottage No. 1	400
		Выход в дачи № 3 Exit of cottage No. 3	2000
		Выход в дачи № 4 Exit of cottage No. 4	2500
		Верхняя станция Upper station	2000

Широта и долгота Latitude and longitude	Начальная точка The starting point	Конечная точка The final point	Расстояние от начальной точки до конечной, м Distance from starting point to ending point, m
55,966765 92,764350	Выход в дачи № 3 Exit of cottage No. 3	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	5000
		Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	4000
		Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	3000
		Смотровая площадка K1 Observation platform K1	4000
		Выход в дачи № 1 Exit of cottage No. 1	2500
		Выход в дачи № 2 Exit of cottage No.2	2000
		Выход в дачи № 4 Exit of cottage No. 4	2000
		Верхняя станция Upper station	1500
55,966435 92,776573	Выход в дачи № 4 Exit of cottage No. 4	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	5000
		Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	4000
		Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	4000
		Смотровая площадка K1 Observation deck K1	4000
		Выход в дачи № 1 Exit of cottage No. 1	3000
		Выход в дачи № 2 Exit of cottage No. 2	2500
		Выход в дачи № 3 Exit of cottage No. 3	2000
		Верхняя станция Upper station	2000
55,965516 92,817332	Выход в дачи № 5 Exit of cottage No. 5	Скала Малек Rock Malek	2000
55,958909 92,780471	Нижняя станция: трасса для сноубордистов Lower station: snowboarding track	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	4000
		Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	3000
		Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	6000
		Скала Чертов палец Rock Damn finger	5000
		Верхняя станция Upper station	4000

Окончание табл. 1 / End of the Table 1

Широта и долгота Latitude and longitude	Начальная точка The starting point	Конечная точка The final point	Расстояние от начальной точки до конечной, м Distance from starting point to ending point, m
55,955051 92,768310	Верхняя станция Upper station	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	4000
		Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	3000
		Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	5000
		Скала Чертов палец Rock Damn finger	2000
		Выход в дачи № 1 Exit of cottage No. 1	2500
		Выход в дачи № 2 Exit of cottage No. 2	2000
		Выход в дачи № 3 Exit of cottage No. 3	1500
		Выход в дачи № 4 Exit of cottage No. 4	2000
		Нижняя станция: трасса для сноубордистов Lower station: snowboarding track	4000
55,949645 92,789355	Станция В2 Station B2	Верхняя станция К1, канатная дорога K1 upper station, cableway	250
		Верхняя станция В2 Top station B2	200
		Скала Малек Rock Malek	650
		Станция В2 Station B2	200
55,950528 92,792551	Верхняя станция В2 Top station B2	Скала Малый беркут Rock Little golden eagle	3000
		Скала Воробушки Rock Sparrows	2000
55,954697 92,818920	Остановка Восточный вход Bus station East entrance	Ручей Моховой Mokhovoy stream	800

Методы решения

Динамика лесного пожара — это сложная многофакторная модель, которая должна учитывать идентифицированные факторы: количество и свойства горючих слоев, рост деревьев, усреднение уравнения горения слоев, значение энтальпии, коэффициент теплоотдачи, расход горючего материала в слоях, удельная поверхность слоя, теплоотдача слоя, переход активного горючего в разные стадии горения, ускорение сгорания, полярные координаты, высоту пламени, угол отклонения пламени от вертикали,

угол направления ветра, скорость ветра, масштабируемый коэффициент, скорость вращения земли и т.д. [13–16].

В данной статье целесообразно взять упрощенную модель динамики лесного пожара [15]. На интервале времени $T = [t_0, t_1]$ берется математическая модель (A, B) динамики $(x(t), u(t))t \in T$ локального лесного пожара (ЛЛП) [12]. Модель имеет вид нестационарной векторно-матричной дифференциальной системы:

$$\frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B(t)u(t),$$

где $t \in T$, $x(t) \in R^n$, $u(t) \in R^3$;

A и B — значения, полученные от параметрической идентификации реальной физической модели;

$x_1(t)$ — текущее значение площади контура ЛЛП;

$x_2(t)$ — текущее значение длины параметра ЛЛП;

$x_i(t)$ — текущая величина удаления от заданной точки в зоне гари ЛЛП до кромки его фронта в фиксированном пожароопасном направлении $i(i = 3, \dots, n)$;

$u_1(t)$ — фактор активности пламени и тлеющих продуктов ЛЛП реализуется в 70 % вероятности возгорания примыкающей местности;

$u_2(t)$ — скорость ветра в зоне действия ЛЛП равна 0;

$u_3(t)$ — количество естественных и искусственных (при проведении тушения ЛЛП) атмосферных осадков, выпавших на 1 м^2 , в зоне гари ЛЛП равно 0 за текущий промежуток времени $[t_0, t_1] \subset T$.

Легко заметить, что модель может усложняться или упрощаться на дополнительные параметры через динамику $(x(t), u(t))$. В первоисточнике приводятся доказательства возможности такого упрощения или усложнения модели, приводятся достаточные условия ее существования и алгоритмы решения [12].

Задачу о кратчайшем пути можно представить как транспортную. В более широком смысле ее представляют как оптимизационную задачу с поиском минимальных точек с промежуточными пунктами, поэтому для решения предложен алгоритм Дейкстры [17, 18]. Он широко используется для нахождения кратчайших путей в графах, где веса ребер неотрицательны. При эвакуации из национального парка «Красноярские столбы» в случае лесного пожара использование алгоритма Дейкстры обосновано следующими причинами:

1. Кратчайший путь: алгоритм находит кратчайший путь от одной вершины (стартовой точки) до всех остальных вершин графа. Это важно для эвакуации, поскольку он поможет определить оптимальный маршрут для безопасного и быстрого перемещения людей из зоны опасности.

2. Эффективность: алгоритм обладает хорошей производительностью и эффективностью при нахождении кратчайших путей в графах с неотрицательными весами ребер. Это позволяет быстро рассчитать оптимальные маршруты для эвакуации в экстренных ситуациях.

3. Простота реализации: алгоритм относительно прост в реализации и понимании, что делает его удобным инструментом для практического применения в различных ситуациях, включая планирование эвакуации.

4. Гарантия оптимальности: алгоритм гарантирует нахождение оптимального пути при условии неотрицательных весов ребер. Это означает, что найденный маршрут будет самым коротким и наилучшим с точки зрения безопасности при эвакуации [19].

Все эти факторы делают алгоритм Дейкстры подходящим инструментом для нахождения оптимального пути эвакуации [20, 21].

Расчеты

Алгоритм Дейкстры не использует явные математические формулы, а опирается на интерактивный процесс обновления расстояний до вершин графа [22]. Расчет в разработанной программе ЭВМ следующий:

1. Инициализация: устанавливаем начальную вершину исходной точкой, а расстояние от нее до всех остальных вершин равным бесконечности, за исключением самой вершины, расстояние до которой равно 0.

2. Выбор вершины: на каждом шаге выбираем вершину с наименьшим известным расстоянием до нее.

3. Релаксация ребер: для выбранной вершины пересчитываем расстояния до соседних вершин, если новое расстояние меньше текущего [23, 24].

Формула для релаксации ребра (u, v) выглядит следующим образом:

$$\text{if } \text{dist}[v] > \text{dist}[u] + \text{weight}(u, v) \text{ then } \text{dist}[v] = \text{dist}[u] + \text{weight}(u, v),$$

где $\text{dist}[v]$ — текущее расстояние до вершины v ;
 $\text{dist}[u]$ — текущее расстояние до вершины u ;
 $\text{weight}(u, v)$ — вес ребра между вершинами u и v .

Для моделирования ситуации эвакуации возьмем точку возникновения пожара с координатами 55.92961 с.ш. и 92.75339 в.д. Вблизи данной точки находятся достопримечательности: Дачки, Городская видовка, Монах и Столбовская видовка. Поэтому расчеты оптимального пути эвакуации будем проводить для указанных достопримечательностей. Эвакуация будет рассчитываться ко всем выходам из заповедника.

Расчеты эвакуации проведены для достопримечательностей, таких как Городская видовка, Монах и Столбовская видовка. В табл. 2 показаны результаты расчетов.

Полный маршрут оптимальных путей эвакуации, отмеченных в табл. 2, представлен в табл. 3. Также маршруты эвакуации для наглядности изображены на рисунке.

Данные результаты особенно важны в случае лесных пожаров, наводнений или других природных ката-

Таблица 2. Расчет пути эвакуации из заповедника вблизи точки пожара до выхода в город**Table 2.** Calculation of the escape route from the reserve in the vicinity of the fire point before entering the city

Конечная точка эвакуации The final point of evacuation	Начальная точка эвакуации The starting point of evacuation			
	Скала Городская видовка Rock City view	Скала Дачки Rock Dachki	Скала Монах Rock Monk	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka
К1 верхняя станция, канатная дорога K1 upper station, cable car	4650	9110	4050	3350
Остановка Турбаза Bus station Camp Site	7100	7610	6500	5800
Выход дачи № 1 Exit of cottage No. 1	6300	10 710	5700	5000
Выход дачи № 2 Exit of cottage No. 2	6300	10 310	5700	5000
Выход дачи № 3 Exit of cottage No. 3	6300	8310	5700	5000
Выход дачи № 4 Exit of cottage No. 4	6300	9310	5700	5000
Выход дачи № 5 Exit of cottage No. 5	7750	12 210	7150	6450
Нижняя станция: трасса для сноубордистов The lower station: snowboarding track	5300	9760	4700	4000
Верхняя станция Upper station	5300	8810	4700	4000
Станция В2 Station B2	4900	9360	4300	3600
Станция В2. Верхняя Station B2. Upper	5100	9560	4500	3800
Остановка Восточный вход Bus station East entrance	7950	10 910	8550	8450

Таблица 3. Итоговые результаты расчетов оптимального выхода из национального заповедника «Красноярские столбы» с маршрутом**Table 3.** The final results of calculations of the optimal exit from the Krasnoyarsk Pillars National Reserve with the route

Начальная точка эвакуации The starting point of evacuation	Конечная точка эвакуации The final point of evacuation	Шаг Step	Откуда Where from	Куда Where	Сумма, м Amount, m	Накопительно, м Cumulative, m	Итог, м Total, m
Скала Дачки Rock Dachki	Остановка Турбаза Bus station Camp Site	1	Скала Дачки Rock Dachki	Скала Дикарь Rock Savage	800	800	7610
		2	Скала Дикарь Rock Savage	Скала Внук Rock Grandson	200	1000	
		3	Скала Внук Rock Grandson	Скала Прадед Rock Great-grandfather	160	1160	
		4	Скала Прадед Rock Great-grandfather	Скала Дед Rock Grandfather	150	1310	
		5	Скала Дед Rock Grandfather	Остановка Вто- рая поперечная Bus station Second transverse	2000	3310	

Начальная точка эвакуации The starting point of evacuation	Конечная точка эвакуации The final point of evacuation	Шаг Step	Откуда Where from	Куда Where	Сумма, м Amount, m	Накопительно, м Cumulative, m	Итого, м Total, m
Скала Дачки Rock Dachki	Остановка Турбаза Bus station Camp Site	6	Остановка Вторая поперечная Bus station Second transverse	Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	2000	5310	7610
		7	Часовня святого Иннокентия Московского и Алеутского The Chapel of St. Inokenty of Moscow and Aleutsky	Скала Чертов палец Rock Damn finger	1500	6810	
		8	Скала Чертов палец Rock Damn finger	Остановка Турбаза Bus station Camp Site	800	7610	
Скала Городская видовка Rock City view	К1 верхняя станция, канатная дорога K1 upper station, cableway	1	Скала Городская видовка Rock City view	Скала Монах Rock Monk	600	600	4650
		2	Скала Монах Rock Monk	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	700	1300	
		3	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	Смотровая площадка (К1) Observation platform (K1)	3000	4300	
		4	Смотровая площадка (К1) Observation deck (K1)	К1 верхняя станция, канатная дорога K1 upper station, cable car	350	4650	
Скала Монах Rock Monk	К1 верхняя станция, канатная дорога K1 upper station, cable car	1	Скала Монах Rock Monk	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	700	700	4050
		2	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	Смотровая площадка (К1) Observation deck (K1)	3000	3700	
		3	Смотровая площадка (К1) Observation deck (K1)	К1 верхняя станция, канатная дорога K1 upper station, cable car	350	4050	

Окончание табл. 3 / End of the Table 3

Начальная точка эвакуации The starting point of evacuation	Конечная точка эвакуации The final point of evacuation	Шаг Step	Откуда Where from	Куда Where	Сумма, м Amount, m	Накопительно, м Cumulative, m	Итого, м Total, m
Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	К1 верхняя станция, канатная дорога K1 upper station, cable car	1	Скала Столбовская видовка Rock Stolbovskaya vidovka	Смотровая площадка (К1) Observation deck (K1)	3000	3000	3350
		2	Смотровая площадка (К1) Observation deck (K1)	К1 верхняя станция, канатная дорога K1 upper station, cable car	350	3350	



Итоговый путь эвакуации от смоделированной точки пожара: П — точка возникновения пожара; А–Г — точки эвакуации; 1–9 — пути маршрута
The final escape route from the simulated fire point: P — point of fire origin; A–G — evacuation points; 1–9 — route paths

строф. В результате были рассчитаны оптимальные пути для маршрутов:

- скала Дачки – остановка «Турбаза»;
- скала Городская видовка – К1 верхняя станция, канатная дорога;
- скала Монах – К1 верхняя станция, Канатная дорога;
- скала Столбовская видовка – К1 верхняя станция, канатная дорога.

Поэтому разработка, поддержание и постоянное обновление маршрутов эвакуации способствует минимизации ущерба и обеспечению безопасности населения в ЧС.

Влияние скорости распространения кромки пожара учитывалось следующим образом. Берем скорость пожара (пессимистичный прогноз) 10 м в мин, тогда путь от скалы Дачки до остановки «Турбаза» (длиной примерно 4,35 км) будет полностью охвачен пожаром через 7 ч 15 мин. Путь от скалы Городская видовка до К1 верхняя станция, канатная дорога (длиной примерно 3 км) будет полностью охвачен пожаром через 5 ч [25].

Рассчитаем стратегию уклонения от пожара. Пожар от точки возникновения до скалы Дачки дойдет за 40 мин. Человек пройдет это расстояние в 400 м за 5 мин. Также от точки возникновения до скалы Столбовская видовка огонь перекроет маршрут Городская видовка – Монах – Столбовская видовка в 700 м за 70 мин. Человек пройдет этот маршрут по тропам — 1,5 км примерно за 15 мин.

По данным расчетам видно, что время человека в пути меньше времени достижения этой точки пожаром. Это значит, что он успел вовремя уйти от пожара.

Данные были рассчитаны при условии, что человек вовремя узнал о пожаре, иначе требуемое время нужно уменьшить на время реагирования и получения информации.

Результаты и их обсуждение

В первую очередь результаты исследования необходимы для своевременного оповещения посетителей парка «Красноярские столбы» для сокращения времени эвакуации из зоны распространения лес-

ного пожара, выбора стратегии уклонения от пожара и улучшения системы поиска заблудившихся посетителей. В дальнейшем исследования могут быть использованы для оптимизации систем оповещения, эвакуации и подготовки сил средств к ЧС на других объектах.

Рассчитанные пути эвакуации при лесном пожаре также актуальны в случае получения травм посетителями, наводнений, природных катастроф или других ЧС.

Перспективным выглядит анализ сети тропинок и ее оптимизации с учетом затрат калорий на маршрут для людей с разным уровнем спортивной подготовки.

Существенным недостатком решения оптимизационной задачи алгоритмом Дейкстры с достаточными условиями оптимальности определения точек минимума является невозможность оценить пожарные риски из-за сложности и количества взаимодействующих факторов пожара для оценок вероятностных оценок эвакуации людей в безопасную зону, пока фактически не начнется лесной пожар.

Естественным выглядит продолжение изучения объекта исследования статьи расчетом оптимального пути эвакуации через создание математической модели различных вариантов возникновения и развития лесного пожара, оценки пожарных рисков для расчета достоверных вероятностных сценариев эвакуации туристов парка в безопасную зону.

Выводы

Рассчитаны оптимальные пути эвакуации из национального парка «Красноярские столбы» при лесном пожаре с использованием алгоритма Дейкстры в разработанной программе ЭВМ. Построен оптимальный путь эвакуации для моделирования ситуации пожара в геоинформационной системе 2GIS. Оценена стратегия уклонения от пожара. Определены эффективные маршруты эвакуации, которые позволяют людям оперативно покинуть опасную зону пожара и добраться до места, где они будут в безопасности. Цель исследования достигнута.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Shashi Shekhara, Kwang Soo Yanga, Venkata M.V. Gunturia, Lydia Manikondaa, Dev Olivera et al. Experiences with evacuation route planning algorithms // International Journal of Geographical Information Science. 2012. Vol. 26. No. 12. Pp. 2253–2265. DOI: 10.1080/13658816.2012.719624
2. Фуряев И.В., Злобина Л.П. Условия возникновения и распространения пожаров в лесных районах Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. 2017. № 1–2. Pp. 66–74. DOI: 10.15372/SJFS20230602
3. McGee T.K. Evacuating first nations during wildfires in Canada // Fire Safety Journal. 2021. Vol. 120. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103120
4. Кротов В.Ф., Лагоша Б.А., Лобанов С.М., Данилина Н.И., Сергеев С.И. Основы теории оптимального управления : учеб. пособие для экономических вузов / под ред. В.Ф. Кротова. М. : Высшая школа, 1990. 430 с.

5. *Anne Ganteaume, Renaud Barbero, Marielle Jappiot, Eric Maille.* Understanding future changes to fires in southern Europe and their impacts on the wildland-urban interface // *Journal of Safety Science and Resilience.* 2021. Vol. 2. DOI: 10.1016/j.jnlssr.2021.01.001
6. *Ioannis Zikeloglou, Efthimios Lekkas, Stylianos Lozios, Maria Stavropoulou.* Is early evacuation the best and only strategy to protect and mitigate the effects of forest fires in WUI areas? A qualitative research on the residents' response during the 2021 forest fires in NE Attica, Greece // *International Journal of Disaster Risk Reduction.* 2023. Vol. 88. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2023.103612
7. *Вайсброт И.А., Ямских Г.Ю., Чернов В.И., Орлова О.С.* Роль геоинформационных технологий в развитии экологического туризма красноярской дестинации // *Географическая среда и живые системы.* 2022. № 1. С. 93–109. DOI: 10.18384/2712-7621-2022-1-93-109
8. *Гуля А.Н., Колбовский Е.Ю., Гайрабеков У.Т.* Картографо-геоинформационное обеспечение устойчивого развития горных регионов // *ИНТЕРКАРТО. ИНТЕРГИС.* 2019. Т. 25. № 1. С. 47–65. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-47-65. EDN UKOVIE.
9. *Mohamad Hassan Ansari, Masoud Bijani, Enayat Abbasi, Imaneh Goli.* Determinants of local community participation in forest fire management in the northern Iran // *International Journal of Disaster Risk Reduction.* 2024. Vol. 107. P. 104478. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2024.104478
10. *Eva Dodsworth.* Geographic Information Systems // *Reference Module in Social Sciences.* 2024. Vol. 1. Pp. 415–427. DOI: 10.1016/B978-0-323-95689-5.00126-7
11. *Ананович З.В.* Использование матриц смежности для визуализации больших графов // *Электронные библиотеки.* 2019. Т. 22. № 1. С. 2–36. DOI: 10.26907/1562-5419-2019-22-1-2-36
12. *Курапов С.В., Давидовский М.В.* Вычислительные методы определения инвариантов графа // *International Journal of Open Information Technologies.* 2021. Vol. 9. No. 2. Pp. 1–8.
13. *Орловский С.Н., Карнаухов А.И., Соколова В.А., Ореховская А.А., Марков В.А., Кривоногова А.С.* Математическое описание распространения лесного пожара // *Systems Methods Technologies.* 2022. № 4 (56). С. 100–104. DOI: 10.18324/2077-5415-2022-4-100-104
14. *Перминов В.А.* Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров : автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск, 2010. 40 с.
15. *Терентьева О.А.* Математическое моделирование предупреждения лесных пожаров на основе теории марковских процессов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2023. 22 с.
16. *Файзрахманов Г.П.* Прогнозирование распространения лесного пожара на основе апостериорного моделирования его нестационарной динамики : дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2006. 149 с.
17. *Jason, Melvin Siever, Alvin Valentino, Kristien Margi Suryaningrum, Rezki Yunanda.* Dijkstra's algorithm to find the nearest vaccine location // *Procedia Computer Science.* 2023. Vol. 216. No. 3. Pp. 5–12. DOI: 10.1016/j.procs.2022.12.105
18. *Yesy Diah Rosita, Erly Ekayanti Rosyida, Muhammad Adik.* Rudiyanto Implementation of Dijkstra Algorithm and Multi-Criteria Decision Making for Optimal Route Distribution // *Procedia Computer Science.* 2019. No. 161. Pp. 378–385. DOI: 10.1016/j.procs.2019.11.136
19. *Balzotti L., Franciosa P.G.* Non-crossing shortest paths lengths in planar graphs in linear time // *Discrete Applied Mathematics.* 2024. Vol. 346. DOI: 10.2139/ssrn.4167477
20. *Близнякова Е.А., Куликов А.А., Куликов А.В.* Сравнительный анализ методов поиска кратчайшего пути в графе // *Архитектура, строительство, транспорт.* 2022. № 1. С. 80–87. DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-80-87. EDN OOHLSV.
21. *Крутько Д.А., Буряченко В.В.* Проблема поиска кратчайшего пути в трехмерном пространстве на территории Торгашинского хребта // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики.* 2022. Т. 2. С. 1452–144. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-poiska-kratchayshego-puti-v-trehmernom-prostranstve-na-territorii-torgashinskogo-hrebta>
22. *Архипова О.О., Каплунов А.Н., Шевырев Л.Ю.* Решение транспортной задачи «алгоритмом Дейкстры» // *Тенденции развития науки и образования.* 2021. № 69–2. С. 29–32. DOI: 10.18411/lj-01-2021-51. EDN QKZHTZ.
23. *Колосова Е.С., Попова С.В.* Транспортная задача как метод решения экономических задач // *Студенческий вестник : электрон. научн. журн.* 2020. № 24 (122). URL: <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/122>
24. *Жукова Т.В., Гладких Д.А.* Программа визуализации графовых алгоритмов // *Актуальные проблемы обучения математике, информатике и информатизации образования : матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 120-летию со дня рождения А.Н. Колмогорова.* 2023. С. 116–121. EDN BZUPDF.
25. *Меженский Д.В., Петров В.В.* Влияние скорости ветра на распространение пожаров. Особенности тушения // *Современные вопросы безопасности : сб. тр. II Вузовской науч.-техн. конф. молодых исследователей.* Волгоград, 2024. С. 65–68. EDN RXERTW.

REFERENCES

1. Shashi Shekhara, Kwang Soo Yanga, Venkata M.V. Gunturia, Lydia Manikondaa, Dev Olivera et al. Experiences with evacuation route planning algorithms. *International Journal of Geographical Information Science*. 2012; 26(12):2253-2265. DOI: 10.1080/13658816.2012.719624
2. Furyaev I.V., Zlobina L.P. Conditions of occurrence and spread of fires in forest areas of the Krasnoyarsk Territory. *Conifers of the boreal zone*. 2017; 1-2:66-74. DOI: 10.15372/SJFS20230602 (rus).
3. McGee T.K. Evacuating First Nations during wildfires in Canada. *Fire Safety Journal*. 2021; 120. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103120
4. Krotov V.F., Lagosha B.A., Lobanov S.M., Danilina N.I., Sergeev S.I. *Fundamentals of the theory of optimal control : textbook for economic universities*. Ed. by V.F. Krotov. Moscow, Higher School, 1990; 430. (rus).
5. Anne Ganteaume, Renaud Barbero, Marielle Jappiot, Eric Maille. Understanding future changes to fires in southern Europe and their impacts on the wildland-urban interface. *Journal of Safety Science and Resilience*. 2021; 2. DOI: 10.1016/j.jnlssr.2021.01.001
6. Ioannis Zikeloglou, Efthimios Lekkas, Stylianos Lozios, Maria Stavropoulou. Is early evacuation the best and only strategy to protect and mitigate the effects of forest fires in WUI areas? A qualitative research on the residents' response during the 2021 forest fires in NE Attica, Greece. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2023; 88. DOI: 10.1016/j.ijdr.2023.103612
7. Weissbrot I.A., Yamskikh G.Yu., Chernov V.I., Orlova O.S. The role of geoinformation technologies in the development of ecological tourism in the krasnoyarsk destination. *Geographical environment and living systems*. 2022; 1:93-109. DOI: 10.18384/2712-7621-2022-1-93-109 (rus).
8. Gunya A.N., Kolbovsky E.Yu., Gayrabekov U.T. Cartographic and geoinformation support for sustainable development of mountain regions. *INTERCARTO. INTERGIS*. 2019; 25(1):47-65. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-47-65. EDN UKOVIE. (rus).
9. Mohamad Hassan Ansari, Masoud Bijani, Enayat Abbasi, Imaneh Goli. Determinants of local community participation in forest fire management in the northern Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2024; 107:104478. DOI: 10.1016/j.ijdr.2024.104478
10. Eva Dodsworth. Geographic Information Systems. *Reference Module in Social Sciences*. 2024; 1:415-427. DOI: 10.1016/B978-0-323-95689-5.00126-7
11. Apanovich Z.V. Using adjacency matrices to visualize large graphs. *Russian Digital Libraries Journal*. 2019; 22(1):2-36. DOI: 10.26907/1562-5419-2019-22-1-2-36 (rus).
12. Kurapov S.V., Davidovsky M.V. Computational methods for determining graph invariants. *International Journal of Open Information Technologies*. 2021; 9(2):1-8. (rus).
13. Orlovsky S.N., Karnaukhov A.I., Sokolova V.A., Orekhovskaya A.A., Markov V.A., Krivonogova A.S. Mathematical description of the spread of forest fire. *System methods and technologies*. 2022; 4(56):100-104. DOI: 10.18324/2077-5415-2022-4-100-104 (rus).
14. Perminov V.A. *Mathematical modeling of the occurrence of crown and mass forest fires : author's abstract dis. ... Doctor of Physics and Mathematics Sciences*. Tomsk, 2010; 40. (rus).
15. Terentyeva O.A. *Mathematical modeling of forest fire prevention based on the theory of Markov processes : abstract of thesis dis. ... cand. tech. Sciences*. Omsk, 2023; 22. (rus).
16. Faizrakhmanov G.P. *Forecasting the spread of a forest fire based on a posteriori modeling of its non-stationary dynamics : dis. ... cand. tech. Sciences*. Irkutsk, 2006; 149. (rus).
17. Jason, Melvin Siever, Alvin Valentino, Kristien Margi Suryaningrum, Rezki Yunanda. Dijkstra's algorithm to find the nearest vaccine location. *Procedia Computer Science*. 2023; 216(3):5-12. DOI: 10.1016/j.procs.2022.12.105
18. Yesy Diah Rosita, Erly Ekayanti Rosyida, Muhammad Adik. Rudiyanto Implementation of Dijkstra Algorithm and Multi-Criteria Decision Making for Optimal Route Distribution. *Procedia Computer Science*. 2019; 161:378-385. DOI: 10.1016/j.procs.2019.11.136
19. Balzotti L., Franciosa P.G. Non-crossing shortest paths lengths in planar graphs in linear time. *Discrete Applied Mathematics*. 2024; 346. DOI: 10.2139/ssrn.4167477
20. Bliznyakova E.A., Kulikov A.A., Kulikov A.V. Comparative analysis of methods for finding the shortest path in a graph. *Architecture, Construction, Transport*. 2022; 1:80-87. DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-80-87. EDN OOHLSV. (rus).
21. Krutko D.A., Buryachenko V.V. The problem of finding the shortest path in three-dimensional space on the territory of the torgashinsky ridge. *Actual Problems of Aviation and Cosmonautics*. 2022; 2:1452-144. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-poiska-kratchayshego-puti-v-trehmernom-prostranstve-na-territorii-torgashinskogo-hrebt> (rus).
22. Arkhipova O.O., Kaplunov A.N., Shevryev L.Yu. The solution of the transport problem by the Dijkstra algorithm. *Trends in the Development of Science and Education*. 2021; 69-2:29-32. DOI: 10.18411/lj-01-2021-51. EDN QKZHTZ. (rus).
23. Kolosova E.S., Popova S.V. Transport problem as a method for solving economic problems. *Student Bulletin : electron. scientific magazine*. 2020; 24(122). URL: <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/122> (rus).

24. Zhukova T.V., Gladkikh D.A. Program for visualization of graph algorithms. *Current Problems in Teaching Mathematics, Computer Science and Informatization of Education : Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 120th anniversary of the birth of A.N. Kolmogorov*. 2023; 116-121. (rus).
25. Mezheny D.V., Petrov V.V. Influence of wind speed on fire spread. Features of extinguishing. *Modern Safety Issues : collection of works of the II University scientific and technical conference of young researchers*. Volgograd, 2024; 65-68. EDN RXERTW. (rus).

Поступила 04.05.2024, после доработки 29.11.2024;

принята к публикации 02.12.2024

Received May 4, 2024; Received in revised form November 29, 2024;

Accepted December 2, 2024

Информация об авторах

МАСАЕВ Сергей Николаевич, к.т.н., доцент, Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева (СибГУ им. акад. М.Ф. Решетнева), Россия, 660000, г. Красноярск, пр-т им. газеты Красноярский Рабочий, 31; ORCID: 0000-0002-5825-2708; e-mail: faberi@list.ru

ШНАЙДЕР Виктория Александровна, магистр, Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева (СибГУ им. акад. М.Ф. Решетнева), Россия, 660000, г. Красноярск, пр-т им. газеты Красноярский Рабочий, 31; ORCID: 0009-0004-4465-0993; e-mail: shnayder.01@mail.ru

Вклад авторов:

Масаев С.Н. — разработка концепции исследования; разработка программы; научное руководство.

Шнайдер В.А. — сбор и обработка данных; расчет путей эвакуации; написание статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Sergey N. MASAEV, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Siberian State University of Science and Technology named after acad. M.F. Reshetnev, 31, pr-t them. newspapers Krasnoyarsk Worker, Krasnoyarsk, 660000, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-5825-2708; e-mail: faberi@list.ru

Victoria A. SHNAYDER, Master's degree, Siberian State University of Science and Technology named after acad. M.F. Reshetnev, 31, pr-t them. newspapers Krasnoyarsk Worker, Krasnoyarsk, 660000, Russian Federation; ORCID: 0009-0004-4465-0993; e-mail: shnayder.01@mail.ru

Contribution of the authors:

Masaev S.N. — development of the research concept; program development; scientific guidance.

Shnayder V.A. — data collection and processing; calculation of escape routes; writing an article.

The authors declare no conflicts of interests.

Моделирование теплового воздействия пожаров в зданиях из деревянных конструкций на соседние объекты

Ирек Равильевич Хасанов✉, Станислав Анатольевич Зуев,
Александр Анатольевич Абашкин

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

АННОТАЦИЯ

Введение. При проектировании и строительстве деревянных зданий нормативными документами предусмотрен ряд ограничений, обусловленных их низкой устойчивостью при пожаре. Противопожарные разрывы (расстояния) для таких зданий максимальны, а увеличение их этажности приведет к их дополнительному увеличению. В связи с этим представляется обоснованным проведение исследований в части оценки оптимальных противопожарных разрывов для ограничения распространения пожара в деревянных зданиях на соседние объекты.

Цели и задачи. Целью настоящей работы является изучение путем полевого моделирования особенностей поведения при пожаре деревянных конструкций для определения количественных характеристик тепловых потоков на соседние объекты защиты для выбора безопасных противопожарных расстояний.

Методология исследования. Для достижения цели исследования использовалось полевое моделирование динамики пожара с использованием компьютерного программного комплекса FDS. При моделировании получены значения температур и тепловых потоков на соседние объекты от пожаров в деревянных зданиях.

Результаты и их обсуждение. В результате моделирования развития пожара в деревянных зданиях различной этажности были получены значения интенсивности теплового излучения на соседние объекты, в том числе с учетом ветровой нагрузки. Результаты расчетов позволили разработать предложения по применению полученных данных при разработке обоснованных нормативных требований пожарной безопасности.

Заключение. Показано, что при пожарах в зданиях с конструкциями из незащищенной древесины при повышении этажности наблюдается рост теплового воздействия на соседние объекты. При наличии ветра в направлении соседнего объекта тепловое воздействие также увеличивается. При оценке безопасных расстояний следует учитывать возможность совместного воздействия лучистого и конвективного потоков. Для соблюдения действующих нормативных значений противопожарных расстояний необходимо повышение пожарной устойчивости деревянных зданий путем увеличения пределов огнестойкости и снижения классов пожарной опасности несущих и ограждающих строительных конструкций.

Ключевые слова: деревянные здания; деревянные конструкции; полевое моделирование пожара; противопожарный разрыв; тепловой поток; распространение пожара

Для цитирования: Хасанов И.Р., Зуев С.А., Абашкин А.А. Моделирование теплового воздействия пожаров в зданиях из деревянных конструкций на соседние объекты // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 6. С. 48–55. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.48-55

✉ Хасанов Ирек Равильевич, e-mail: irhas@rambler.ru

Modelling of thermal effects of fires in buildings made of wooden structures on neighbouring objects

Irek R. Khasanov✉, Stanislav A. Zuev, Aleksandr A. Abashkin

All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Moscow region, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. When designing and constructing wooden buildings, regulatory documents stipulate a number of restrictions due to their low fire resistance. Fire breaks (distances) for such buildings are maximum, and an increase in their number of floors will lead to their additional increase. In this regard, it seems reasonable to conduct research in terms of assessing the optimal fire breaks to limit the spread of fire in wooden buildings to neighbouring facilities.

Aims and objectives. The aim of this work is to study by field modelling the peculiarities of fire behaviour of wooden structures to determine the quantitative characteristics of heat flows to neighbouring protection facilities for the selection of safe fire separation distances.

Research methodology. To achieve the purpose of the study, field modelling of fire dynamics using the FDS computer software package was used. During the simulation, the values of temperatures and heat fluxes to neighbouring objects from fires in wooden buildings were obtained.

The results and their discussion. As a result of modelling of fire development in wooden buildings of different number of floors, values of the intensity of thermal radiation on neighbouring objects were obtained, including taking into account the wind load. The results of the calculations made it possible to develop proposals for the application of the data obtained in the development of sound regulatory requirements for fire safety.

Conclusion. It is shown that in case of fires in buildings with structures made of unprotected wood, with an increase in the number of floors, an increase in thermal effects on neighbouring objects is observed. In the presence of wind in the direction of a neighbouring object, the thermal effect also increases. When assessing safe distances, the possibility of combined exposure to radiant and convective flows should be taken into account. In order to comply with the current regulatory values of fire-fighting distances, it is necessary to increase the fire resistance of wooden buildings by increasing the fire resistance limits and reducing the fire hazard classes of load-bearing and enclosing building structures.

Keywords: wooden buildings; wooden structures; field modelling of fire; fire breaks; heat flow; spread of fire

For citation: Khasanov I.R., Zuev S.A., Abashkin A.A. Modeling of the thermal effects of fires in buildings made of wooden structures on neighboring objects. *Pozharovzrybobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(6):48-55. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.48-55 (rus).

✉ Irek Ravilevich Khasanov, e-mail: irhas@rambler.ru

Введение

В современных условиях строительство деревянных зданий, в том числе многоэтажных, вышло на новый технологический уровень и рассматривается как перспективное направление, особенно для сельских и пригородных районов. Также в последние годы при проектировании зданий все более заметную роль в выборе материалов конструкций играют экологические аспекты. В связи с этим возрос интерес к строительству зданий с использованием древесины. Этому также способствует широкое внедрение новых строительных конструкций и материалов: клееные деревянные панели (CLT), ориентировано-стружечные плиты (OSB), брусья из клееного шпона (LVL) и другое [1].

В Российской Федерации для зданий из незащищенных деревянных конструкций действующими нормативными документами по пожарной безопасности предусмотрен ряд ограничений [2]. Например, этажность таких зданий ограничена двумя этажами, а использовать их для детских учреждений и больниц не допускается. В зарубежных странах противопожарные требования к деревянным зданиям также связаны с этажностью, пределами огнестойкости несущих конструкций и применением горючих материалов в отделке [3]. При увеличении этажности (более двух) деревянных зданий необходимо обеспечение объекта системами обнаружения пожара и пожаротушения, включая использование конструктивной огнезащиты [4].

Пожарная опасность древесины характеризуется интенсивной скоростью тепловыделения и высокой температурой горения. Термическое разложение древесины начинается при температуре 110 °С. При

280–300 °С древесина воспламеняется и начинает интенсивно гореть [5].

Поведение деревянных конструкций при пожаре определяется материалом (цельная древесина, клееные панели, брусья и другое) и также их конструктивными особенностями [6]. Деревянные конструкции заводского исполнения (например, CLT-панели, клееный брус) имеют пожарно-технические характеристики, близкие к характеристикам конструкций из цельной древесины.

Величина теплового потока при пожаре, температура на обогреваемой поверхности и продолжительность облучения рядом стоящих зданий являются основными параметрами при оценке противопожарных разрывов. При этом значения этих параметров не должны превышать критических значений воспламенения горючих материалов соседнего объекта. При близких расстояниях воспламенение соседнего объекта, помимо теплового излучения, может произойти и за счет прямого контакта с пламенем. При крупных открытых пожарах возможны случаи распространения пожара на значительные расстояния за счет переноса искр и горящих конструктивных элементов [7].

Основы практических расчетов значений противопожарных разрывов между зданиями изложены в работах [8, 9], в которых основным механизмом распространения пожара между объектами принято излучение от факела пламени горящего здания. Расчеты противопожарных расстояний осуществляются, как правило, методом определения значений тепловых потоков, которые не должны превышать значения 12,5 кВт/м² на фасаде соседнего здания.

Для оценки распространения пожара на соседние объекты широко применяются методы полевого моделирования, которые позволяют, помимо тепло-

вого излучения, учитывать также конвективный перенос тепла [10, 11]. Широкое распространение получил компьютерный код [12], который применялся в ряде работ при исследовании динамики развития пожара, например, в целях обеспечения эвакуации в коттеджах и жилых квартирах [13, 14], для оценки распространения огня по фасадам зданий [15], при оценке теплового потока при пожаре через проемы [16], при расчетах противопожарных расстояний от наземных автостоянок до жилых зданий [17] и др.

Полевое моделирование развития и распространения пожара на объектах с применением деревянных конструкций рассмотрено в исторических районах Пекина [18], в жилой застройке домов с деревянными каркасами [19], на экспериментальных деревянных штабелях [20], в многоэтажном здании из CLT-панелей [21], в деревянном здании с учетом работы систем пожаротушения [22].

Цель настоящего исследования — изучение методом полевого моделирования особенностей поведения при пожаре в деревянных зданиях для определения количественных характеристик теплового воздействия на соседние объекты и выбора безопасных противопожарных расстояний.

Методология исследования

Моделирование пожара в деревянных зданиях и оценка наружного теплового воздействия на соседние объекты проводились по программе FDS [12]. Расчеты осуществлялись как в зданиях с незащищенными деревянными конструкциями, так и с конструкциями с нормируемыми пределами огнестойкости. Расстояние между зданиями принималось равным 15 м. Рассматривались два сценария погодных условий: отсутствие ветра и при наличии ветра скоростью 10 м/с в направлении фасада соседнего здания.

Минимальное (критическое) значение теплового потока, при котором происходило воспламенение фасада, принималось равным $12,5 \text{ кВт/м}^2$. Считалось, что при температуре 250°C начиналось тепловое разложение древесины, а при температуре 450°C — устойчивое горение.

Незащищенные деревянные конструкции из массива сосны имели толщину 0,1 м, при которой физическая толщина больше размера прогреваемого слоя — 0,02 м [23]. В этом случае самостоятельное горение поверхностей конструкций не происходит.

В качестве основного сценария развития пожара принималось круговое распространение огня по горючей нагрузке из древесины в одном из помещений нижнего этажа. Расчеты опасных факторов пожара проводились до достижения их максимальных значений. Основными параметрами, определяющими возможность распространения пожара, рассматривались значения плотностей теплового потока и поля тем-

ператур по всей высоте фасадной стены на соседнем объекте.

При оценке максимальных значений теплового потока на облучаемом фасаде соседнего деревянного здания считалось, что объект расположен по нормали от горящего здания.

Результаты и их обсуждение

Для изучения влияния этажности на распространение огня рассмотрены пожары в деревянном двухэтажном здании высотой 6 м и в четырехэтажном деревянном здании высотой 12 м. Ширина зданий 10 м.

Результаты компьютерных расчетов показали быстрое развитие пожара по объему зданий с выходом пламени на фасад. На рис. 1 и 2 показаны рассчитанные поля температур у фасадной стены соседнего здания при пожаре в двухэтажном деревянном

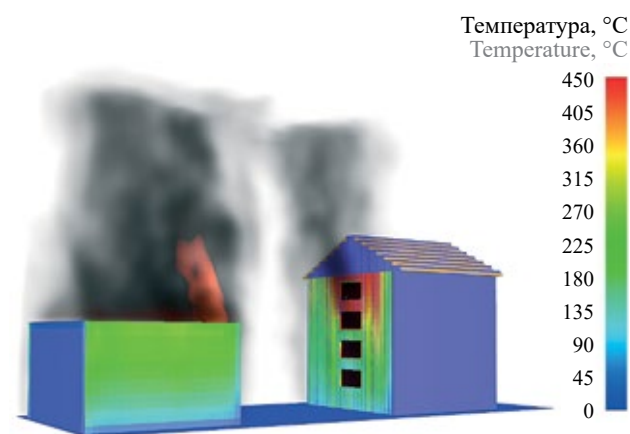


Рис. 1. Поля температур, $^\circ\text{C}$, фасадной стены соседнего деревянного здания на 800-й секунде при пожаре в двухэтажном деревянном здании

Fig. 1. The temperature field, $^\circ\text{C}$, of the facade wall of a neighbouring wooden building at the 800th second during a fire in a two-storey wooden building

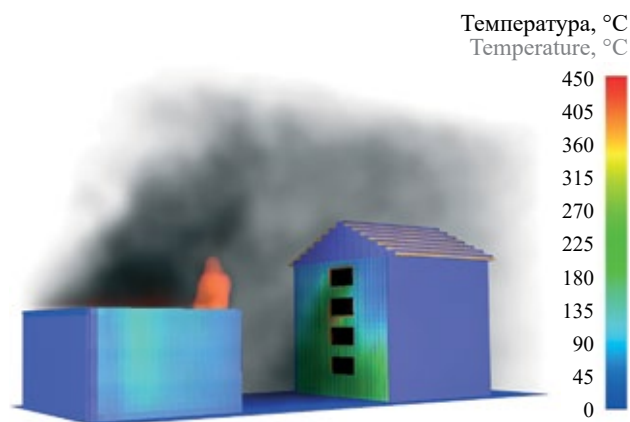


Рис. 2. Поля температур, $^\circ\text{C}$, фасадной стены соседнего здания на 800-й секунде при пожаре в двухэтажном деревянном здании с учетом влияния ветра 10 м/с

Fig. 2. Temperature fields, $^\circ\text{C}$, of the facade wall of the neighbouring building at the 800th second during a fire in a two-storey wooden building, taking into account the influence of wind 10 m/s

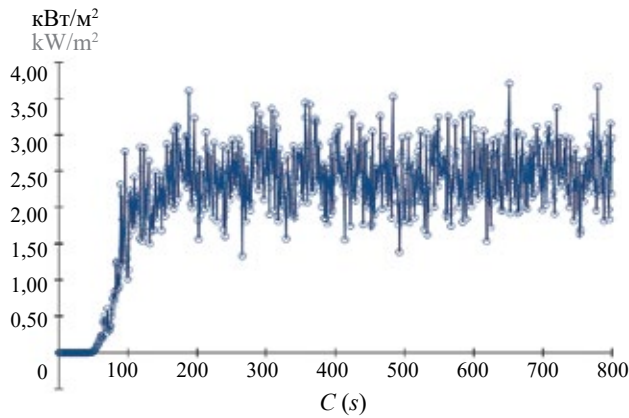


Рис. 3. Зависимость плотности падающего теплового потока, кВт/м², у фасадной стены соседнего здания от времени, с, при пожаре в двухэтажном деревянном здании

Fig. 3. The dependence of the density of the incident heat flow, kW/m², at the facade wall of the neighbouring building on the time, seconds, during a fire in a two-storey wooden building

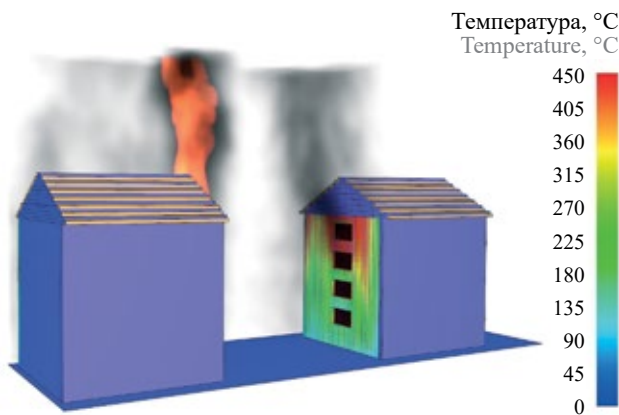


Рис. 4. Поля температур, °C, фасадной стены соседнего здания на 800-й секунде при пожаре в четырехэтажном деревянном здании

Fig. 4. Temperature fields, °C, of the facade wall of the neighbouring building at the 800th second during a fire in a four-storey wooden building

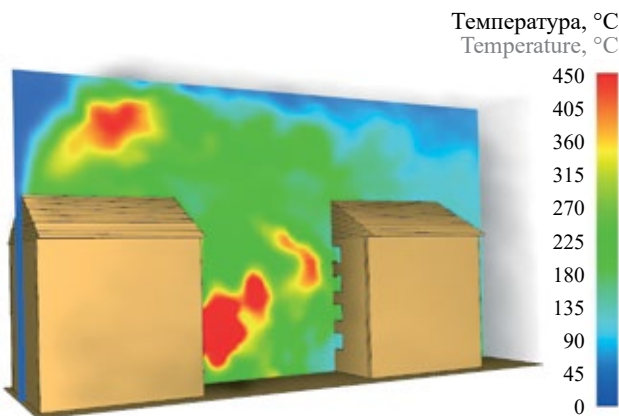


Рис. 5. Поля температур, °C, на 800-й секунде при пожаре в четырехэтажном деревянном здании с учетом влияния ветра 10 м/с

Fig. 5. Temperature fields, °C, at the 800th second during a fire in a four-storey wooden building, taking into account the influence of wind 10 m/s

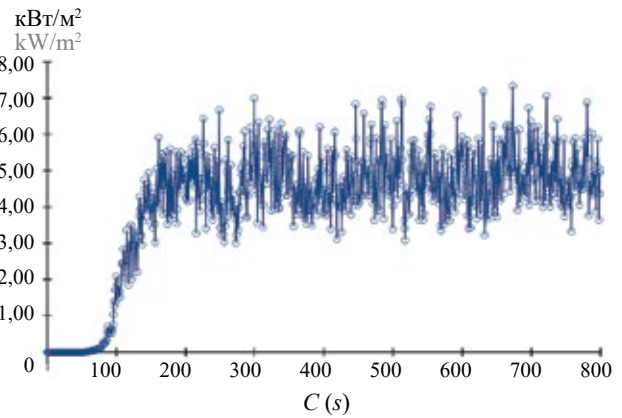


Рис. 6. Зависимость плотности падающего теплового потока, кВт/м², у фасадной стены соседнего здания (на уровне четвертого этажа) от времени при пожаре в четырехэтажном деревянном здании с учетом влияния набегающего ветра скоростью 10 м/с

Fig. 6. Dependence of the density of the incident heat flow, kW/m², at the facade wall of the neighbouring building (at the level of the fourth floor) on the time, seconds, during a fire in a four-storey wooden building, taking into account the influence of the incoming wind at a speed of 10 m/s

здании в условиях отсутствия и при наличии ветра скоростью 10 м/с.

Наибольшее тепловое воздействие на соседний фасад четырехэтажного здания наблюдалось у верхних этажей в условиях отсутствия ветра (рис. 1). Температура стены достигала критических значений (450 °C) с дальнейшим возгоранием древесины. Моделирование пожара с учетом влияния ветра (рис. 2) показало снижение такой опасности, что можно объяснить охлаждением опасных участков ветровым потоком. Температура продуктов горения, конвективно воздействующих на поверхность стены, не превысила температуру начала теплового разложения древесины 250 °C.

Максимальные значения плотности теплового потока у фасада соседнего здания достигали на 200-й секунде, но не превышали критического значения 12,5 кВт/м² (рис. 3).

Моделирование пожара в четырехэтажном деревянном здании показало, что, по сравнению с пожаром в двухэтажном здании, наблюдается более интенсивный прогрев фасадной стены соседнего здания как при отсутствии ветра (рис. 4), так при ветровой нагрузке (рис. 5).

Достижение максимального значения теплового потока у фасадной стены соседнего здания (7 кВт/м²) после 200-й секунды наблюдалось при воздействии ветровой нагрузки (рис. 6). Вместе с тем совместное воздействие лучистого потока и конвективных продуктов горения потенциально могут привести к активному тепловому разложению и последующему возгоранию незащищенной древесины фасадной стены.

Моделирование проводилось также для пожара в четырехэтажном деревянном здании с огнестой-

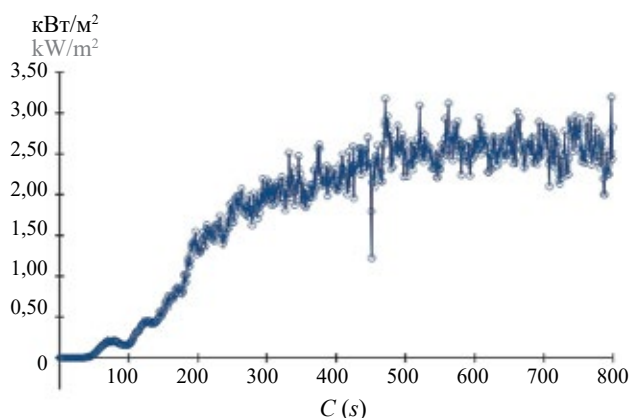


Рис. 7. Зависимость плотности падающего теплового потока, кВт/м², у фасадной стены соседнего здания от времени при пожаре в четырехэтажном деревянном здании с огнестойкими ограждающими конструкциями

Fig. 7. Dependence of the density of the incident heat flow, kW/m², at the facade wall of the neighbouring building on the time, seconds, of a fire in a four-storey wooden building with fire-resistant building structures

кими ограждающими конструкциями. В этом случае наблюдалось снижение скорости распространения пожара по зданию и снижение теплового потока на соседний объект до 2,5 кВт/м² (рис. 7).

Заключение

Анализ особенностей деревянных зданий показал их повышенную пожарную опасность, что повышает риск распространения пожара на соседние здания.

Результаты компьютерного моделирования пожара показали, что для зданий до четырех этажей с наружными стенами из «термически толстых» деревянных конструкций (срубы из бревен, брусьев, клееных

CLT-панелей) действующие нормативные значения противопожарных расстояний обеспечивают ограничение распространения пожара на соседний объект. Для фасадных стен из «термически тонких» конструкций (толщиной менее 0,02 м), которые способны к самостоятельному пламенному горению, возможен охват пламенем значительной части стены горящего здания с дальнейшим увеличением теплового воздействия на соседние объекты.

Оценка теплового воздействия на соседнее деревянное здание также показала, что совместное воздействие лучистого и конвективного потоков на фасады из незащищенной древесины может привести к их разогреву до температуры термического разложения и последующему возгоранию. Потенциальная возможность такого воздействия особенно актуальна для деревянных зданий повышенной этажности (более двух этажей). Вместе с тем при устройстве в деревянных зданиях огнестойких конструкций тепловое воздействие на соседние объекты снижается практически до значений, сравнимых с тепловым воздействием от зданий с высокой пожарной устойчивостью.

Для снижения опасности распространения огня на деревянные здания необходимо проведение мероприятий по огнезащите фасадных стен конструктивными способами, включая отделку огнезащитными материалами, пропитку огнезащитными составами (антипиренами), огнезащитными лаками.

Результаты исследований позволяют осуществить совершенствование нормативных требований для обеспечения пожарной безопасности деревянных зданий различной этажности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хасанов И.Р. Особенности пожарной опасности зданий из деревянных конструкций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 11. С. 51–60. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.51-60
2. Гордиенко Д.М., Абашикин А.А., Хасанов И.Р., Зуев С.А. Нормативное регулирование в области пожарной безопасности многоэтажных зданий из деревянных конструкций // Пожарная безопасность. 2023. № 1 (110). С. 59–67. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2023.110.1.006
3. Östman B. National fire regulations for the use of wood in buildings : worldwide review 2020 // Wood Material Science and Engineering. 2021. No. 17 (1). Pp. 1–4. DOI: 10.1080/17480272.2021.1936630
4. Östman B., Brandon D., Frantzi H. Fire safety engineering in timber buildings // Fire Safety Journal. 2017. No. 91. Pp. 11–20. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.05.002
5. Aseeva R., Serkov B., Sivenkov A. Fire behavior and fire protection in timber buildings. 2014. 290 p. DOI: 10.1007/978-94-007-7460-5
6. Albert C.M., Liew K.C. Recent development and challenges in enhancing fire performance on wood and wood-based composites : a 10-year review from 2012 to 2021 // Journal of Bioresources and Bioproducts. 2024. Vol. 9. Issue 1. Pp. 27–42. DOI: 10.1016/j.jobab.2023.10.004
7. O'Connor D.J. The building envelope: fire spread, construction features and loss examples // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition. Society of Fire Protection Engineers. 2016. Pp. 3242–3282. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_86
8. Ройтман М.Я. Пожарная профилактика в строительном деле. М. : ВИПТШ МВД СССР, 1975. 256 с.
9. Романенко П.Н., Кошмаров Ю.А., Башикурцев М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. М. : ВИПТШ МВД СССР, 1977. 415 с.

10. Рыжов А.М., Хасанов И.Р., Карпов А.В., Волков А.В. и др. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях : методические рекомендации. М. : ВНИИПО, 2002. 35 с.
11. McGrattan K., Miles S. Modeling fires using Computational Fluid Dynamics (CFD) // *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Fifth Edition. Society of Fire Protection Engineers, 2016. Pp. 1034–1065. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_32
12. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K. et al. Fire dynamics simulator user's guide: NIST Special Publication 1019. 6th Ed. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2013. 262 p.
13. Lu W.L., Cheng J.X. Numerical Simulation Analysis of Fire in Ancient Building burning Temple // *Fire Science and Technology*. 2012. No. 4. Pp. 290–293. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0029.2011.04.006
14. Enaru I., Chereches N.-C., Hudişteanu S.-V., Ţurcanu E.-F. et al. Numerical Simulation Evaluation of Fire Spreading in a Building Using Fire Dynamics Simulator (FDS) // *Journal of Applied Engineering Sciences*. 2023. Vol. 13 (26). Pp. 65–72. DOI: 10.2478/jaes-2023-0009
15. Nguyen H.T., Abu-Zidan Y., Zhang G., Nguyen K.T.Q. Machine learning-based surrogate model for calibrating fire source properties in FDS models of facade fire tests // *Fire Safety Journal*. 2022. Vol. 130. P. 103591. DOI: 10.1016/j.firesaf.2022.103591
16. Misic N., Dusica N., Pesic J. Simulation of fire radiative heat flux through compartment openings using FDS // 24th International Conference on Fire Protection. Ostrava, 2015. Pp. 380–383.
17. Хасанов И.Р., Зуев С.А., Абашкин А.А., Зуева А.С. Противопожарные расстояния от наземных автостоянок до жилых зданий // *Пожарная безопасность*. 2022. № 1 (106). С. 57–66. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2022.75.67.005
18. Huai C., Xie J., Liu F., Liu J. Experimental and numerical analysis of fire risk in historic Chinese temples: a case in Beijing // *International Journal of Architectural Heritage*. 2021. No. 16 (12). Pp. 1844–1858. DOI: 10.1080/15583058.2021.1916648
19. Zhang F., Shi L., Liu S. CFD-based framework for fire risk assessment of contiguous wood-frame villages in the western Hunan region // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 54. Pp. 104607–104607. DOI: 10.1016/j.jobbe.2022.104607
20. Janardhan K., Hostikka S. Predictive computational fluid dynamics simulation of fire spread on wood cribs // *Fire Technology*. 2019. No. 55 (4). Pp. 2245–2268. DOI: 10.1007/s10694-019-00855-3
21. Hayajneh S., Naser J. Fire Spread in Multi-Storey Timber Building, a CFD Study // *Fluids*. 2023. No. 8 (5). Issue 140. 17 p. DOI: 10.3390/fluids8050140
22. Zhao X., Wei S., Chu Y., Wang N. Numerical simulation of fire suppression in stilted wooden buildings with fine water mist based on FDS // *Buildings*. 2023. No. 13. P. 207. DOI: 10.3390/buildings13010207
23. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства : монография. М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. 262 с.

REFERENCES

1. Khasanov I.R. Features of fire safety of buildings of wooden structures. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(11):51-60. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.51-60 (rus).
2. Gordienko D.M., Abashkin A.A., Khasanov I.R., Zuev S.A. Regulatory regulation in the field of fire safety of multi-storey buildings made of wooden structures. *Fire Safety*. 2023; 1:59-67. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2023.110.1.006 (rus).
3. Östman B. National fire regulations for the use of wood in buildings : worldwide review 2020. *Wood Material Science and Engineering*. 2021; 17(1):1-4. DOI: 10.1080/17480272.2021.1936630
4. Östman B., Brandon D., Frantzich H. Fire safety engineering in timber buildings. *Fire Safety Journal*. 2017; 91:11-20. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.05.002
5. Aseeva R., Serkov B., Sivenkov A. *Fire behavior and fire protection in timber buildings*. 2014; 290. DOI: 10.1007/978-94-007-7460-5
6. Albert C.M., Liew K.C. Recent development and challenges in enhancing fire performance on wood and wood-based composites : a 10-year review from 2012 to 2021. *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 2024; 9(1):27-42. DOI: 10.1016/j.jobab.2023.10.004
7. O'Connor D.J. The Building Envelope: Fire Spread, Construction Features and Loss Examples. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 5th Ed. Society of Fire Protection Engineers, 2016; 3242-3282. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_86
8. Roitman M.Ya. *Fire prevention in construction*. Moscow, VIPTSH of the Ministry of Internal Affairs of the USSR, 1975; 256. (rus).
9. Romanenko P.N., Koshmarov Yu.A., Bashkirtsev M.P. *Thermodynamics and heat transfer in firefighting*. Moscow, VIPTSH of the Ministry of Internal Affairs of the USSR, 1977; 415. (rus).

10. Ryzhov A.M., Khasanov I.R., Karpov A.V., Volkov A.V. et al. *Application of the field method of mathematical modeling of indoor fires : methodological recommendations*. Moscow, VNIPO, 2002; 35. (rus).
11. McGrattan K., Miles S. Modeling fires using Computational Fluid Dynamics (CFD). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*. Society of Fire Protection Engineers, 2016; 1034-1065. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_32
12. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K. et al. *Fire dynamics simulator user's guide: NIST Special Publication 1019. Sixth Edition*. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2013; 262.
13. Lu W.L., Cheng J.X. Numerical simulation analysis of fire in ancient building burning temple. *Fire Science and Technology*. 2012; 4:290-293. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0029.2011.04.006
14. Enaru I., Chereches N.-C., Hudișteanu S.-V., Țurcanu E.-F. et al. Numerical simulation evaluation of fire spreading in a building using Fire Dynamics Simulator (FDS). *Journal of Applied Engineering Sciences*. 2023; 13(26):65-72. DOI: 10.2478/jaes-2023-0009
15. Nguyen H.T., Abu-Zidan Y., Zhang G., Nguyen K.T.Q. Machine learning-based surrogate model for calibrating fire source properties in FDS models of facade fire tests. *Fire Safety Journal*. 2022; 130:103591. DOI: 10.1016/j.firesaf.2022.103591
16. Misić N., Dusica N., Pesic J. Simulation of fire radiative heat flux through compartment openings using FDS. *24th International Conference on Fire Protection*. Ostrava, 2015; 380-383.
17. Khasanov I.R., Zuev S.A., Abashkin A.A., Zueva A.S. Fire-fighting distances from surface parking lots to residential buildings. *Fire Safety*. 2022; 1(106):57-66. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2022.75.67.005 (rus).
18. Huai C., Xie J., Liu F., Liu J. Experimental and numerical analysis of fire risk in historic Chinese temples: a case in Beijing. *International Journal of Architectural Heritage*. 2021; 16(12):1844-1858. DOI: 10.1080/15583058.2021.1916648
19. Zhang F., Shi L., Liu S. CFD-based framework for fire risk assessment of contiguous wood-frame villages in the western Hunan region. *Journal of Building Engineering*. 2022; 54:104607-104607. DOI: 10.1016/j.job.2022.104607
20. Janardhan K., Hostikka S. Predictive computational fluid dynamics simulation of fire spread on wood cribs. *Fire Technology*. 2019; 55(4):2245-2268. DOI: 10.1007/s10694-019-00855-3
21. Hayajneh S., Naser J. Fire spread in multi-storey timber building, a CFD Study. *Fluids*. 2023; 8(5):140:17. DOI: 10.3390/fluids8050140
22. Zhao X., Wei S., Chu Y., Wang N. Numerical simulation of fire suppression in stilted wooden buildings with fine water mist based on FDS. *Buildings*. 2023; 13:207. DOI: 10.3390/buildings13010207
23. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. *Burning of wood and its fire-hazardous properties : monograph*. Moscow, Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2010; 262. (rus).

Поступила 24.08.2024, после доработки 06.11.2024;

принята к публикации 11.11.2024

Received August 24, 2024; Received in revised form November 6, 2024;

Accepted November 11, 2024

Информация об авторах

ХАСАНОВ Ирек Равильевич, д.т.н., главный научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; ORCID: 0000-0002-5659-0746; ResearcherID: T-4177-2017; РИНЦ ID: 157014; e-mail: irhas@rambler.ru

ЗУЕВ Станислав Анатольевич, к.т.н., ведущий научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; ORCID: 0000-0003-4498-3021; РИНЦ ID: 328576; e-mail: k708@yandex.ru

Information about the authors

Irek R. KHASANOV, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-5659-0746; ResearcherID: T-4177-2017; ID RSCI: 157014; e-mail: irhas@rambler.ru

Stanislav A. ZUEV, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4498-3021; ID RSCI: 328576; e-mail: k708@yandex.ru

АБАШКИН Александр Анатольевич, начальник отдела, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; ORCID: 0000-0002-6347-3257; e-mail: one_15@bk.ru

Вклад авторов:

Хасанов И.Р. — *научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; итоговые выводы.*

Зуев С.А. — *выбор направлений моделирования; проведение компьютерных расчетов; написание исходного текста; итоговые выводы.*

Абашкин А.А. — *участие в выборе методов моделирования; общее руководство; доработка текста; итоговые выводы. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

Aleksandr A. ABASHKIN, Head of Department, 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; ORCID: 0000-0002-6347-3257; e-mail: one_15@bk.ru

Contribution of the authors:

Khasanov I.R. — *scientific guidance; conducting computer calculations; research concept; writing the draft; final conclusions.*

Zuev S.A. — *choice of modeling directions; formulation of the initial problem; writing the draft; final conclusions.*

Abashkin A.A. — *participation in the selection of modeling methods; general guidance; revision of the text; final conclusions. The authors declare no conflicts of interests.*

Пожарная безопасность заправочной инфраструктуры транспорта на водородном топливе

Юрий Николаевич Шебеко ✉

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Проведено обоснование необходимости проведения исследований в области пожарной безопасности заправочной инфраструктуры железнодорожного, водного и воздушного транспорта, использующего водород в качестве топлива. Актуальность статьи обусловлена происходящим во всем мире расширением работ по переводу различных видов транспорта на водородное топливо. Целью работы является аналитический обзор исследований в области пожарной безопасности объектов, предназначенных для заправки указанных видов транспорта водородным топливом. При этом основной задачей является выявление пробелов в тематике и результатах уже проведенных исследований и разработка предложений по дальнейшим работам.

Анализ исследований в области пожарной безопасности заправочных станций для транспорта на водородном топливе. Проанализированы публикации в международных журналах, посвященных решению проблемы использования водорода на транспорте. Исследования в этом направлении ведутся во многих странах мира, хотя практическая реализация их результатов относительно невелика. В первую очередь следует отметить создание в Германии регулярных пассажирских железнодорожных перевозок, хотя масштабы этих перевозок невелики (работает только одна местная линия). В Норвегии подходят к концу работы по переводу паромов на водородное топливо. Работы в области применения водорода на воздушном транспорте носят поисковый характер.

Выводы. Водород является перспективным видом моторного топлива для различных видов транспорта, в том числе железнодорожного, морского и воздушного. Однако результаты работ, опубликованных в научной печати, свидетельствуют о достаточно слабой проработанности вопросов пожарной безопасности. В связи с этим представляется необходимым проведение дополнительных исследований в этой области. Намечены направления указанных исследований.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; водный транспорт; воздушный транспорт; заправочная станция; оценка риска

Для цитирования: Шебеко Ю.Н. Пожарная безопасность заправочной инфраструктуры транспорта на водородном топливе // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 6. С. 56–66. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.56-66

✉ Шебеко Юрий Николаевич, e-mail: yn_shebeko@mail.ru

Fire safety of hydrogen fuel transport refueling infrastructure

Yury N. Shebeko ✉

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

ABSTRACT

Introduction. The necessity of research in the field of fire safety of an infrastructure of railway, waterway and air transport using hydrogen as a fuel is presented. The relevance of this study is stipulated by an expansion of works aimed on an application of hydrogen to various types of the transport. The aim of this study is a review of investigations in the area of the fire safety of the infrastructure for a hydrogen refueling (hydrogen transport). The main task is to identify gaps in the subject and results of already conducted research and to develop proposals for further work.

Analysis of investigations in the area of the fire safety of the refueling stations for transport using hydrogen as a fuel. Publications in international journals devoted to solving the problem of hydrogen use in transport were analyzed. Researches in this direction are carried out in many countries of the world, though practical realization of their results is relatively small. First of all, it is worth mentioning the creation of regular passenger railway transportations in Germany, although the scale of these transportations is small (only one local line operates).

In Norway, the conversion of ferries to hydrogen fuel is nearing completion. The works in the field of hydrogen application in air transport are of exploratory nature.

Conclusions. Hydrogen is a promising type of motor fuel for various types of transport, including railway, marine and air transport. However, the results of the works published in scientific press testify to rather weak elaboration of fire safety issues. In this connection it seems necessary to carry out additional research in this area. The directions of these studies are outlined.

Keywords: railway transport; waterway transport; air transport; refueling stations; risk assessment

For citation: Shebeko Yu.N. Fire safety of hydrogen fuel transport refueling infrastructure. *Pozharovzryvobezopasnost'/ Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(6):56-66. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.56-66 (rus).

✉ Yuri Nikolaevich Shebeko, e-mail: yn_shebeko@mail.ru

Введение

В настоящее время во многих странах мира проводятся исследования в области развития водородной энергетики, что обусловлено в первую очередь необходимостью решения экологических проблем, связанных с загрязнением атмосферы при использовании ископаемого топлива. Большая часть этих исследований посвящена транспортным средствам и объектам транспортной инфраструктуры при применении водородного топлива. Исследования в области водородных технологий проводятся и в Российской Федерации. Обзор отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих требования безопасности к объектам, реализующим указанные технологии, дан в работах [1, 2]. В дополнение к рассмотренным в указанных работах нормативным документам следует отметить международный стандарт EN 17127¹. Недавно вступили в силу Изменения № 2 к СП 156.13130.2014², в которых изложены требования к автозаправочным станциям с применением компримированного водорода. В работах [3–5] дан обзор отечественных и зарубежных публикаций, посвященных обеспечению пожарной безопасности объектов инфраструктуры автомобильного транспорта, использующего водород в качестве моторного топлива.

Водород как топливо может использоваться не только для автомобилей, но и для других видов транспорта — железнодорожного, водного и воздушного. В связи с этим настоящая работа посвящена обзору исследований в области пожарной безопасности объектов заправочной инфраструктуры транспорта на водородном топливе (железнодорожного, водного, воздушного). Целью работы является аналитический обзор исследований в области пожарной безопасности объектов, предназначенных для заправки указанных видов транспорта водородным топливом. При этом основной задачей является выявление пробелов в тематике и результатах уже

проведенных исследований и разработка предложений по дальнейшим работам.

Анализ исследований в области пожарной безопасности заправочных станций для транспорта на водородном топливе

Общие вопросы обеспечения безопасности и оценка риска для объектов инфраструктуры транспорта на водородном топливе рассмотрены в работе [6]. Проведено сравнение пожароопасных свойств водорода и метана, который в настоящее время достаточно широко используется в качестве моторного топлива и имеет специфику пожарной опасности, близкую к водороду. Отмечены следующие основные отличия в специфике пожарной опасности этих двух видов топлива:

1. Образующиеся при утечках топливного газа водород (H_2) и метан (CH_4) гораздо опаснее в случае водорода.

2. Для метана существует хорошо разработанное и апробированное взрывозащищенное электрооборудование. Аналогичное оборудование для водорода существенно менее распространено.

3. Минимальная взрывоопасная концентрация кислорода (МВСК) в случае водорода составляет 5 % (об.), а для метана 12 % (об.).

4. Для водородовоздушных смесей достаточно вероятным является процесс перехода дефлаграции в детонацию, в то время как аналогичный процесс для метана наблюдали только в шахтах.

5. Испарение жидкого водорода, для которого нормальная температура кипения составляет 20,4 К, может приводить к конденсации воздуха с образованием конденсированных взрывоопасных составов.

Отмечены следующие пути определения безопасных параметров объектов транспортной инфраструктуры:

1. Применение согласительных процедур с участием надзорных органов. Примеры подобного подхода изложены в нормативном документе³ при наличии отступлений от нормативных требований.

¹ EN 17127. Outdoor hydrogen refueling points dispensing gaseous hydrogen and incorporating filling protocols. URL: [standards/cen/728dbf15-e72a-404c-91ba-5d3d0679886b/en-17127-2024](https://standards.cen/728dbf15-e72a-404c-91ba-5d3d0679886b/en-17127-2024)

² СП 156.13130.2014. Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности.

³ NFPA 2. Hydrogen Technologies Code. URL: [standards/nfpa/nfpa2023](https://standards.nfpa/nfpa2023)

2. Концепция максимальной проектной аварии, с помощью которой оцениваются безопасные параметры объекта. Недостатком такого подхода является неопределенность при выборе указанной аварии. NFPA 2³ регламентирует оценку безопасных расстояний на основе критерия достижения концентрацией водорода величины нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР) при разгерметизации трубопровода с образованием отверстия с площадью, составляющей 1 % от площади поперечного сечения указанного трубопровода.

3. Расчет риска. Безопасные расстояния оценивают исходя из контуров потенциального риска для его значений 10^{-7} , 10^{-6} и 10^{-5} год⁻¹.

Рассмотрены вопросы безопасности объектов инфраструктуры автомобильного, железнодорожного и водного транспорта. Описана имевшая место 10.06.2019 г. авария на автомобильной водородной заправочной станции (далее — HRS-hydrogen refueling station). Произошла небольшая утечка водорода (по данным расследования аварии — 0,04 г/с) из емкости объемом 50 л при давлении 95 МПа, продолжавшаяся в течение 2 ч. Причина такого события — недостаточная затяжка болтов, которая не была обнаружена персоналом вплоть до момента катастрофического разрушения силиконового уплотнения. За 2–3 с вышло около 2 кг водорода, в результате образовавшаяся газозоодушная смесь взорвалась. Жертв не было, на расстоянии до 65 м от места аварии разрушено остекление.

Приведены результаты оценки риска для скоростного пассажирского парова на водородном топливе. Отмечено, что основная опасность связана с резервуарами хранения водорода и трубопроводами высокого давления. Опасность оборудования низкого давления, топливных ячеек и двигателя внутреннего сгорания существенно ниже в силу меньшей опасности утечек с образованием факелов или взрывоопасных смесей. Отмечено, что на пароме оборудование с водородом должно быть установлено на верхней палубе для безопасного рассеяния возможных аварийных утечек. Водород на пароме в количестве до 500 кг хранится в резервуарах из композитных материалов при давлении 25–35 МПа, оборудованных клапанами для сброса газа при воздействии на резервуар очага пожара.

Опыт количественной оценки риска для резервуаров со сжатым водородом (GH₂) показывает, что выполнение указанных выше критериев допустимого риска возможно лишь при исключении наиболее опасных сценариев аварии. Увеличение количества сжатого водорода на пароме неизбежно приведет к недопустимому росту риска в силу увеличения количества оборудования, работающего при высоком

давлении. Для избежания этого может быть использован жидкий водород (LH₂).

Одна из опасностей его применения связана с тем, что при контакте больших количеств пролитого при аварии LH₂ с воздухом последний конденсируется с преимущественным испарением азота как более летучего компонента с образованием жидкости, обогащенной кислородом. В конденсированной фазе при этом образуются взрывоопасные составы вида водород-кислородно-азотная смесь. В подтверждение этого механизма описан эксперимент [7], в котором наблюдали сильный взрыв при истечении LH₂, обусловленный образованием конденсированных отложений указанного вида на твердой поверхности. Эти отложения горели в течение 2 с, затем произошел сильный взрыв, эквивалентный взрыву 2–4 кг тринитротолуола (ТНТ). Данная опасность может проявиться при бункеровке при аварийных крупных выбросах жидкого водорода.

Отмечено появление поездов на водородном топливе, основная концепция развития которых заключается в том, что эти поезда не должны быть более опасными по сравнению с поездами на дизельном топливе. При этом наибольшую опасность представляют участки пути в железнодорожных тоннелях.

Вопросы безопасности водородных заправочных станций (HRS) для различных видов транспорта рассмотрены в работе [8]. Отмечены следующие виды возможных аварий:

- I — утечки водорода при негерметичности резервуаров, оборудования и трубопроводов;
- II — утечки водорода из фланцев, запорной арматуры и уплотнений;
- III — утечки водорода из-за ошибок оператора или внешнего воздействия;
- IV — пожары и взрывы;
- V — другие причины.

В Японии в 2018 г. эксплуатировалось 96 HRS, на которых в период с 2005 по 2014 г. произошла 21 авария, 14 из которых относились к типу II. Одна из указанных аварий сопровождалась взрывом.

Вместо доставки водорода на станцию предлагается производить его на месте с помощью электролизеров. В Швеции имеется станция Mariestad, на которой получают водород методом электролиза с использованием солнечной энергии. Мощность электролизера 250 кВт, станция работает в период с апреля по сентябрь. Водород компримируется и хранится в 216 резервуарах из композитных материалов при давлении 70 МПа.

1 июня 2019 г. произошел взрыв в северной Калифорнии (США) при заправке автоцистерны сжиженным водородом, после чего прекратились на 3 месяца поставки газа на 13 заправочных станций. Авария началась с небольшой утечки водорода, но процесс

заправки при этом не остановили, что привело к эскалации аварии.

В работе [9] рассмотрена возможность использования водородной заправочной инфраструктуры для итальянских региональных железнодорожных линий. Эта инфраструктура включает в себя производство, хранение и заправку железнодорожных транспортных средств. Поезда на водородном топливе являются подходящей альтернативой дизельным поездам для региональных линий. При этом выбросы углекислого газа снижаются на 79 %. Водород может использоваться как резервное топливо на неэлектрифицированных участках железной дороги.

В работах [10, 11] рассматривается возможность дооборудования существующих АЗС для получения водорода методом электролиза. Перспективы применения водорода в качестве топлива для региональных железнодорожных линий рассмотрены в работах [12, 13].

Состояние вопроса и перспективы создания поездов на водородном топливе проанализированы в работе [14]. Такие поезда более экономичны в части инфраструктурных затрат по сравнению с электропоездами. Время заправки водородом меньше, чем время зарядки электрических батарей в случае применения подвижного состава на аккумуляторах. Стоимость транспортировки водорода трубопроводным транспортом сравнима со стоимостью передачи электроэнергии с учетом затрат на создание соответствующей инфраструктуры, но потери энергии при этом ниже. Но при этом возникают две проблемы:

1. Вопросы безопасности.

2. Устройство водородных топливных баков на локомотивах (необходимы резервуары с давлением не менее 35 МПа для сжатого водорода или криогенных баков для жидкого водорода).

Способ размещения резервуаров с водородом на единицах подвижного состава (локомотивы, вагоны) очень важен для обеспечения безопасности. Первый способ — размещение на крышах вагонов. Второй — организация специального вагона с водородными резервуарами, что имеет преимущество с точки зрения обеспечения безопасности при заправке, так как такой вагон может быть отсоединен от состава. Как правило, применяют сжатый водород. Сжиженный водород более пригоден для поездов дальнего следования и рассматривается для применения в Корее.

Отмечены 14 реализуемых проектов поездов на водородном топливе: в Европе (Германия, Великобритания, Франция, Польша, Италия), в Азии (Китай, Корея, Индия) и северной Америке (США, Канада). Первый поезд на водородном топливе был пущен в Германии в 2018 г., но регулярное движение начато лишь в 2022 г. (компания Alstom). Состав имеет 5 ваго-

нов и может проезжать расстояние до 1000 км без дозаправки. Используется так называемый «серый» водород, получаемый на химических предприятиях. К 2026 г. планируется переход на «зеленый» водород. Стационарная заправочная станция работает с 2022 г., до этого момента применяли передвижной заправщик. Резервуары со сжатым водородом размещены на крышах вагонов. Имеются литий-ионные батареи для накопления избыточной энергии, которая может быть использована при повышенных нагрузках (например, при ускорении поезда).

Помимо отмеченной выше постоянно функционирующей в Германии железнодорожной линии на водородном топливе в ряде стран реализуются пробные проекты. В Великобритании в 2019 г. разработан поезд HydroFLEX, прототипом которого является состав на дизельном топливе 30-летней давности, у которого дизельный двигатель заменен на двигатель, питающийся от топливных элементов. Во Франции планируется запуск 12 поездов на водородной тяге. В Азии, как отмечено выше, проекты поездов на водородной тяге реализуются в Китае и Корее, причем в последнем случае упор делается на применение сжиженного водорода. В этих проектах противопожарная перегородка должна разделять резервуар со сжиженным водородом и блок топливных ячеек. Отсеки локомотива должны быть оснащены вытяжной вентиляцией с кратностью не менее 12. Поезд может проехать до 600 км со скоростью до 160 км/час без дозаправки. В Индии для снабжения поездов водородом планируется разработка мощного электролизера производительностью 240 кг водорода в день. В Японии коммерческое применение водородных поездов намечено к 2030 г.

Отмечены проблемы, которые следует решить для широкого применения поездов на водородном топливе:

- использование «чистых» источников энергии для получения водорода, тогда как в настоящее время его, как правило, получают из ископаемого топлива;
- хранение и транспортировка водорода;
- высокая техническая сложность водородных заправочных станций;
- вопросы безопасности.

Работа [15] посвящена обзору исследований применения водорода для различных видов транспорта (автомобильного, железнодорожного, водного, воздушного). Рассматриваются транспортные средства с двигателями внутреннего сгорания и на топливных элементах, технологии хранения и доставки водорода, особенности заправочных станций. Отмечено, что в основном используются двигатели на топливных элементах, так как двигатели внутреннего сгорания дают высокую температуру продуктов горения,

что влечет за собой высокие концентрации окислов азота в продуктах горения, а также высокую вероятность возникновения детонационных режимов горения водородовоздушных смесей.

В Великобритании имеется 13 действующих водородных заправочных станций, 5 станций планируется к строительству. Производительность одной такой станции, как правило, ниже 100 кг в день, но для практических целей необходимо увеличение этой величины до 1000 кг в день. Доставку GH_2 следует осуществлять по трубам или использовать LNH_2 . Для малых производительностей (50–100 кг в день) предпочтительнее доставка сжатого водорода автомобилями. К 2027 г. планируется создание автомобилей с топливными баками жидкого водорода. Планируется разработка гибридных автобусов на водородном топливе с постоянно работающими топливными ячейками, при этом возможный избыток электрической энергии накапливается в аккумуляторах и используется для покрытия дефицита мощности при определенных режимах работы двигателя.

В странах Европы водородные заправочные станции, как правило, получают топливо от автомобильных заправщиков, затем газ компримируется до давления 35 МПа на площадке станции. Время заправки автомобиля составляет 5–7 мин. Может использоваться криосжатый водород (определение этого понятия приведено в [5]), получаемый из жидкого водорода.

В авиации водород может использоваться:

- для топливных ячеек, питающих дополнительные и/или аварийные потребители;
- в сжиженном виде для основных двигателей;
- для производства синтетического авиационного топлива.

При применении жидкого водорода для основных двигателей при его хранении на борту потребуется в 4 раза больший объем по сравнению с обычным авиационным топливом, поэтому использование для этой цели крыльев самолета неприемлемо, в связи с чем требуются альтернативные конструкторские решения. Такой самолет планируется создать к 2035 г. При этом потребуются разработка соответствующей заправочной инфраструктуры, включающей в себя производство жидкого водорода в аэропорту при подаче газообразного водорода по трубопроводу.

Морской транспорт в Великобритании дает только 5 % от всех вредных выбросов, вследствие чего применение водорода в качестве судового топлива в настоящее время неактуально. Перспективным представляется использование двигателей внутреннего сгорания с применением жидкого водорода, так как использование топливных ячеек потребует наличия отсеков большого объема. В Великобритании имеется только один паром на водородном топливе, расположен-

ный в Бристоле. Для бункеровки сжатым водородом доставка топлива на расстояние до 300 км может осуществляться автомобильным транспортом с дальнейшим получением жидкого водорода непосредственно в порту.

Для снижения вредных выбросов от железнодорожного транспорта в Великобритании к 2040 г. планируется отказаться от тепловозов на дизельном топливе, перейдя к локомотивам на жидком водороде. Как альтернатива рассматривается расположение резервуаров со сжатым водородом на крышах локомотива и вагонов. Возможны гибридные системы с применением топливных элементов и аккумуляторов, что экономически более выгодно по сравнению с электрификацией железнодорожных трасс. Кроме того, мощности чисто водородных локомотивов может быть недостаточно для грузовых и высокоскоростных пассажирских поездов дальнего следования, что повышает актуальность упомянутых выше гибридных систем. Важной задачей является повышение плотности топлива в резервуарах, для чего, помимо жидкого водорода, может применяться криосжатый водород. Одним из центральных вопросов является создание заправочной инфраструктуры. Использование жидкого водорода связано с необходимостью создания крупномасштабных (объем 20 000–100 000 м³) изотермических хранилищ топлива, хотя в настоящее время достаточно хорошо проработан проект хранилища объемом 6000 м³, а наибольший объем действующего хранилища составляет 3200 м³.

Перспективно применение одного типа заправочных станций для различных видов транспорта. При этом необходима разработка стандартов по следующим направлениям:

- физико-химические и пожароопасные свойства водорода в различных агрегатных состояниях;
- производство водорода;
- хранение и транспортировка водорода;
- датчики обнаружения утечек водорода.

Вопросы хранения водорода применительно к железнодорожному транспорту рассмотрены в работе [16]. Водородные локомотивы используют, как правило, сжатый водород, применение жидкого водорода встречается редко [17]. Отмечено отсутствие непосредственно применимых стандартов для водородных локомотивов и водородных заправочных станций. Рассмотрены следующие способы хранения водорода, применимые для железнодорожных локомотивов и соответствующей заправочной инфраструктуры:

- в виде сжатого газа (давление 35–70 МПа);
- в виде криосжатого газа (давление до 30 МПа);
- в виде жидкого газа (давление 0,4–1,6 МПа).

Для хранения GH_2 применяют резервуары из композитных материалов. Криосжатый водород

хранится в резервуарах с вакуумной теплоизоляцией диаметром 600–700 и длиной 2350–2650 мм при температурах от -240°C (33 К) до -73°C (200 К). При этом длительность хранения составляет 1–2 дня при заполнении резервуара на 100 % и 10–30 дней при заполнении на 50 %. Жидкий водород хранится в резервуарах с вакуумной или многослойной теплоизоляцией.

Во всем мире реализуется или планируется к реализации 47 проектов использования водорода на железнодорожном транспорте. В ряде случаев имеющиеся локомотивы на дизельном топливе переводят на водород. При этом применяются резервуары на давление 35 МПа (в отдельных случаях — на 70 МПа), расположенные на крышах. Обеспечивается дальность перевозок до 1000 км.

Указаны 4 возможных типа водородных заправочных станций:

- заправка газообразного водорода от автомобильного заправщика;
- заправка жидкого водорода от автоцистерны;
- подача водорода по трубопроводу от химического завода;
- подача водорода от электролизера.

Генеральный план водородных заправочных станций для железнодорожного транспорта определяется следующими факторами:

- видом локомотива и давлением водорода в топливных резервуарах;
- требуемой скоростью заправки;
- количеством одновременно заправляемых локомотивов;
- вариантом поставки водорода (расстояние до предприятия по производству водорода, требуемое количество топлива, предпочтительность использования «зеленого» водорода);
- параметрами площадки для размещения станции.

Характерное время заправки локомотива компримированным водородом составляет 35–70 мин, в будущем предполагается снизить это время до 15. Использование жидкого водорода повышает энергетическую плотность хранящегося топлива в 2 раза, но его применение ограничивается отсутствием соответствующих топливных транспортных резервуаров, которые в настоящее время находятся в стадии разработки.

Особенности водородной заправочной станции для железнодорожного транспорта с использованием электролизеров проанализированы в работе [18]. Локомотивы для надежности должны иметь, помимо водородного, еще и дизельное топливо. Одно из преимуществ водородного топлива — быстрая заправка локомотива, который после этого может двигаться в течение 18 ч.

Предлагается для водородных заправочных станций железнодорожного транспорта использовать электролизеры с дальнейшим компримированием водорода до давления 50 МПа и его раздачи через топливораздаточные колонки. Топливный бак должен вмещать до 200 кг водорода при давлении 35 МПа. Заправочная станция должна быть рассчитана на ежедневный расход водорода до 4000 кг. Чтобы обеспечить указанные параметры, станция должна иметь следующие элементы:

- электролизерную систему;
- хранилище водорода низкого давления (до 35 МПа);
- систему компримирования;
- хранилище водорода высокого давления (до 50 МПа);
- заправочные колонки.

Питание электролизера должно быть от источника «зеленой» энергии. Используется 15 л неподготовленной или 10 л очищенной воды на каждый килограмм произведенного водорода. При этом за 1 ч производится 200 кг водорода, что сопровождается расходом 8 МВт·час электроэнергии. Хранилище водорода низкого давления представляет собой резервуар длиной 22 и диаметром 3 м объемом 150 м^3 , вмещающий до 500 кг газа. Система компримирования сжимает водород до давления 52,5 МПа, для чего потребляется мощность 500 кВт «зеленой» энергии. Для заправки топливных баков локомотивов до давления 35 МПа используется подача газа из резервуаров высокого давления. Указанные выше параметры станции способны обеспечить заправку 20 поездов местной линии. При этом хранилище высокого давления состоит из 330 резервуаров с единичной вместимостью 16,5 кг при давлении 50 МПа.

В работе [19] проведены оценки риска водородной заправочной станции производительностью 600 кг в день, расположенной в городской черте, для случаев компримированного и жидкого водорода. В более ранних работах [20, 21] показано, что риск для станций с наличием жидкого водорода выше. В Корее рассматриваются станции с GH2 и LH2, при этом отмечено, что применение жидкого водорода экономически более выгодно.

В качестве примера рассмотрена заправочная станция компримированного водорода с топливными баками автомобилей на давление 70 МПа. Доставка газа осуществляется автомобильным транспортом с резервуарами при давлении 20 МПа. Водород компримируется до давления 87 МПа, хранится в отдельном резервуаре и подается на заправочную колонку под давлением 70 МПа. Жидкий водород хранится в криогенном резервуаре при давлении 0,4 МПа, затем подается на испаритель. Остальная часть станции для заправки LH2 аналогична объекту с GH2.

Объект имеет длину 100 и ширину 65 м и включает в себя операторную и необходимое технологическое оборудование. Автомобиль-заправщик для доставки водорода имеет два резервуара с массой газа 350 кг в каждом. Производительность топливозаправочной колонки 25 кг/час. Для станции с GH2 в качестве инициирующих аварию событий рассматриваются утечки из отверстий диаметром 0,11, 1,11 и 11,1 мм. Приведены частоты инициирующих аварию событий.

Проведена оценка индивидуального и социального рисков, величины которых сравниваются с критериями допустимого риска⁴. Следует отметить, что используемое в данной работе понятие индивидуального риска отличается от принятого в Российской Федерации, так как не учитывает долю времени, проводимого человеком вблизи опасного объекта. В российских нормативных документах⁵ такая величина называется потенциальным риском. Согласно упомянутому выше руководству⁴ максимально допустимая величина индивидуального риска для работников объекта составляет 10^{-3} год⁻¹, для населения вблизи него — 10^{-4} год⁻¹.

Найдено, что для рассматриваемого объекта размеры зон поражения тепловым излучением при максимальной проектной аварии составляют:

- для интенсивности теплового излучения $q = 4$ кВт/м² — 182 м (случай станции с GH2) и 210 м (случай станции с LH2);
- для $q = 12,5$ кВт/м² — 120 м (GH2) и 110 м (LH2);
- для $q = 37,5$ кВт/м² — 70 м (GH2) и 62 м (LH2).

Размеры зон поражения ударной волной при максимальной проектной аварии для уровня избыточного давления 20 кПа составляют 95 м (GH2) и 118 м (LH2).

Расчеты риска показали, что необходимы дополнительные мероприятия по его снижению, из которых наиболее существенны повышение надежности заправочных рукавов и топливораздаточных колонок, оснащение территории станции датчиками на водород и применение систем автоматического аварийного отключения оборудования. Сделан вывод, что по уровню риска станции с наличием сжатого и жидкого водорода близки друг к другу. Для обоих типов станций наиболее опасной операцией, дающей наибольший вклад в величину риска, является перекачка топлива из автомобильного заправщика в стационарные резервуары хранения.

В работе [22] исследовано применение вертикальных противопожарных экранов для снижения

опасности водородных заправочных станций. Проанализированы следующие вопросы:

- каковы безопасные расстояния для незащищенного человека и пожарного в боевой одежде для воздействия водородного газового факела;
- насколько эти расстояния могут быть уменьшены при использовании противопожарных экранов.

Для решения указанных задач разработана модель горизонтального водородного факела с учетом наличия противопожарных экранов. Найдено, что если высота экрана меньше или равна высоте точки истечения водорода, то пламя вблизи экрана становится вертикальным. Доля энергии сгоревшего водорода, переходящей в излучение, находится в диапазоне 13,6–23,1 %. Поверхностная плотность теплового излучения составляет 22,4–24,7 кВт/м². Безопасные расстояния составляют 23,1 м при $\Delta H = 0$ и 7,3 м при $\Delta H = 1$ м, где ΔH — разность высот верха экрана и точки истечения водорода. Сделан вывод, что увеличение величины ΔH до значения более 1 м не приводит к заметному снижению размеров опасных зон.

Вопросы применения водорода в качестве судового топлива рассмотрены в работах [23, 24]. В работе [23] проведена оценка риска для пассажирского паром на водородном топливе. В апреле 2018 г. Международная организация по судоходству (International Maritime Organization-IMO) приняла новую стратегию снижения вредных выбросов от судов: к 2050 г. эти выбросы должны быть снижены на 50 %. В Норвегии к 2026 г. планируется перевести на нулевые выбросы круизные и туристические суда, используемые во фьордах. При этом перевод на электрические батареи вряд ли возможен. Альтернатива — применение водородного топлива, полученного от «чистых» источников энергии. Производство водорода в объеме 500–1000 кг в день путем электролиза конкурентоспособно с производством другого «чистого» топлива — биодизельного.

В работе [23] проведена оценка риска для водородного паром на 100 пассажиров. Судно курсирует по фиксированному дневному маршруту с одним пунктом заправки. Хранение газообразного топлива на судне предусмотрено в 3 резервуарах из композитных материалов общим объемом 8300 л при давлении 25 МПа (полное количество водорода 450 кг). Имеется 16 топливных ячеек с электрической мощностью 50–100 Вт каждая.

Основное требование к парому на водородном топливе — его безопасность должна быть не ниже аналогичного паром на жидком моторном топливе. В Норвегии уровень безопасности паромов и скоростных пассажирских судов определяется следующим условием: должно быть не более 1 смертельного случая на 10^9 пассажиро-километров. При работе паром в течение 30 ч в неделю это условие соответ-

⁴ Health and Safety Executive. Guidance of ALARP decisions in COMAH. Ver. 3.

⁵ Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : утв. Приказом МЧС России от 26.06.2024 г. № 533.

стствует уровню индивидуального риска $7 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹ при уровне потенциального риска $4 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹. К этому условию следует добавить требование, чтобы риск, связанный с пребыванием парама в порту (включая заправку топливом), был допустимым с учетом регламентированных опасных зон.

Выделены следующие опасные зоны в порту при наличии в нем водородного парама и соответствующей инфраструктуры:

- внутренняя зона — внутри контуров риска по уровню 10^{-5} год⁻¹. Деятельность в этой зоне ограничена, допускается временное пребывание пассажиров;
- средняя зона — между контурами риска с уровнями 10^{-6} и 10^{-5} год⁻¹. В этой зоне допускаются офисные здания, промышленные объекты, причалы, железнодорожные товарные станции;
- внешняя зона — между контурами риска 10^{-7} и 10^{-6} год⁻¹;
- за внешней зоной — вне контуров риска по уровню 10^{-7} год⁻¹. В этой зоне могут быть расположены отели, больницы, школы и т.п.

Бункеровка водородом должна иметь место на отдельном участке причала, где не допускается присутствие пассажиров. Предлагается меры безопасности при бункеровке принимать аналогично случаю бункеровки СПГ⁶.

Рассчитаны значения потенциального риска на различных расстояниях от судна. Найдено, что значения риска на малых расстояниях (менее 10 м) могут быть существенно снижены путем организации аварийного сброса водорода из заправочного трубопровода. Определены радиусы контуров риска для различных его значений: 10^{-5} год⁻¹ — 11 м; 10^{-6} год⁻¹ — 22 м; 10^{-7} год⁻¹ — 38 м. Основной вклад в риск дают сценарии, связанные с разгерметизацией заправочного рукава при бункеровке парама.

Предложены следующие мероприятия по снижению риска:

- раннее обнаружение пожара с активацией сброса водорода из резервуаров хранения;
- применение противопожарных экранов для предотвращения воздействия водородного факела на строительные конструкции и оборудование;
- огнезащита строительных конструкций и резервуаров хранения водорода;
- применение легкобросаемых конструкций во взрывоопасных помещениях;
- минимизация длин и диаметров технологических трубопроводов и количества запорной арматуры на них;
- применение сбросных труб для обеспечения расхода водорода при его аварийном сбросе

400–800 г/с. Эти трубы должны иметь достаточно большую высоту для предотвращения опасного воздействия факела на окружающие объекты.

В работе [24] проведено численное моделирование возможности подавления водородного факела (как горизонтального, так и вертикального) с помощью тонкораспыленной воды применительно к судам на водородном топливе. Показано, что наибольшую эффективность дает применение капель воды диаметром 30 мкм. С увеличением размеров капель эффективность тонкораспыленной воды снижается. Чем выше скорость капель, тем выше их гасящий эффект за счет их большей проникающей способности во фронт пламени за счет преодоления конвективных потоков. Показано, что боковые потоки воздуха, имеющие скорость 4 м/с, заметно снижают эффективность тонкораспыленной воды за счет уноса капель. Отмечено при этом, что гашения факела не происходит, реализуется лишь снижение температуры пламени и продуктов сгорания.

В работе [25] рассматривается концепция создания самолета на водородном топливе. Благодаря высокой удельной теплоте сгорания водорода такой самолет может иметь меньшую массу по сравнению с воздушными судами, использующими керосин в качестве топлива. В США компании Universal Hydrogen и ZeroAvia независимо одна от другой планируют выпустить региональные водородные самолеты. О создании такого воздушного судна объявила также компания Airbus. В Европе компанией FlyZero реализуется проект создания водородного самолета. В нашей стране был разработан самолет ТУ-155 на водородном топливе. Однако на существующих водородных самолетах были выполнены только демонстрационные полеты. Одна из проблем заключается в хранении водорода на борту самолета. В случае компримированного водорода его следует хранить при давлении 70 МПа, при этом резервуары не могут быть размещены из-за недостатка места в фюзеляже самолета, и необходимо использовать жидкий водород, который в данном случае имеет два преимущества по сравнению с компримированным газом:

- плотность хранящегося продукта в 2–3 раза выше;
- давление хранения существенно ниже (0,1–0,2 МПа). Основная проблема использования жидкого водорода — необходимость высокоэффективной теплоизоляции, работающей при температурах около 20 К. Рассмотрены технологические и конструктивные особенности водородного самолета.

Помимо водорода в качестве топлива, продукты сгорания которого не загрязняют окружающую среду, рассматривают аммиак как альтернативное судовое топливо, содержащее водород в связанном виде [26]. Достоинством аммиака является низкое давление хра-

⁶ ISO 20519: 2017. Ships and marine technology — specification for bunkering of liquefied natural gas fueled vessels.

нения продукта при комнатной температуре и более высокая объемная плотность энергии (11,4 ГДж/м³) даже по сравнению с жидким водородом (8,5 ГДж/м³). Однако нормативная база для применения аммиака в качестве топлива отсутствует. Имеющийся международный нормативный документ⁷, касающийся судов, использующих газовое топливо или топливо с низкой температурой вспышки, основан на опыте применения СПГ и не содержит специфических для аммиака требований. Отмечено, что основной риск применения аммиака в качестве судового топлива связан с его токсичностью и коррозионной активностью при сравнительно низком уровне пожаровзрывоопасности.

Выводы

В настоящей работе проанализирована проблема обеспечения пожаровзрывобезопасности при применении водорода в качестве топлива для железнодорожного, водного и воздушного транспорта. Анализ

⁷ MSC 2015. Adoption of the International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels (IGF CODE). IMO Resolution MSC 391/95.

показал, что в указанной области проведенные исследования касаются в основном железнодорожного транспорта. Отмечено, что, хотя во многих странах ведутся работы по созданию локомотивов на водородном топливе и соответствующей заправочной инфраструктуры, только в Германии осуществляются регулярные пассажирские перевозки на местной линии с участием указанных локомотивов. В остальных странах имеются максимум демонстрационные водородные поезда. Развитие данного направления в существенной степени сдерживается отсутствием необходимой нормативной базы. Использование водородного топлива для водного транспорта в достаточно широких масштабах осуществляется только в Норвегии для пассажирских паромных перевозок. Применение водородного топлива в авиации не носит широкого характера, хотя работы в этом направлении ведутся различными компаниями. Подводя итог сделанному обзору, можно констатировать, что проводимые во всем мире исследования применения водорода в качестве топлива для различных видов транспорта носят, как правило, поисковый характер и требуют своего расширения в будущем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гордиенко Д.М., Шебеко Ю.Н. Пожаровзрывобезопасность объектов водородной энергетики // Безопасность труда в промышленности. 2022. № 2. С. 7–12. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-2-7-12. EDN FYZNQV.
2. Шебеко Ю.Н. Нормативные документы, регламентирующие вопросы пожарной безопасности объектов инфраструктуры водородной энергетики // Пожарная безопасность. 2020. № 4. С. 36–42.
3. Гордиенко Д.М., Шебеко Ю.Н. Пожарная безопасность инфраструктуры транспорта на водородном топливе // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2022. Т. 31. № 2. С. 41–51. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.41-51. EDN UZHJGX.
4. Шебеко Ю.Н. Пожарная безопасность водородных автозаправочных станций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 4. С. 42–50. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.42-50. EDN FDSVEM.
5. Шебеко Ю.Н. Пожарная безопасность хранения и транспортировки водорода // Пожарная безопасность. 2023. № 1. С. 17–26. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2023.110.1.001. EDN JBMKKQ.
6. Hansen O.R. Hydrogen infrastructure — Efficient risk assessment and design optimization approach to ensure safe and practical solutions // Process Safety and Environmental Protection. 2020. Vol. 141. Pp. 164–176. DOI: 10.1016/j.psep.2020.06.028
7. Royle M., Willoughby D. The safety of future hydrogen economy // Process Safety and Environmental Protection. 2011. Vol. 89 (6). Pp. 452–462. DOI: 10.1016/j.psep.2011.09.003
8. Pagliaro M., Iulianell A. Hydrogen refueling stations: safety and sustainability // General Chemistry. 2020. Vol. 6. P. 190029. DOI: 10.13140/RG.2.2.10338.48324
9. Piraino F., Genovese M., Fragiaco P. Towards a new mobility concept for regional trains and hydrogen infrastructure // Energy Conversion and Management. 2021. Vol. 228. P. 113650. DOI: 10.1016/j.enconman.2020.113650
10. Chrysochioidis N., Escude M.R., van Wijk A.M.J. Technical potential of on-site wind powered hydrogen production refueling stations in the Netherlands // International Journal of Hydrogen Energy. 2020. Vol. 45. Pp. 25096–25108. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.06.125
11. Tsuda K. Design proposal for hydrogen refueling infrastructure development in the Northeastern United States // International Journal of Hydrogen Energy. 2014. Vol. 39 (14). Pp. 7449–7459. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.03.002
12. Farkas B., Koller L., Kovessdi I. Issues for introduction of hydrogen-powered rail vehicles on Hungarian regional railways lines through an example for Germany // Transportation Research Procedia. 2024. Vol. 77. Pp. 35–42. DOI: 10.1016/j.trpro.2024.01.005
13. Fu L., Chen X., Chen Yu., Jiang S., Shen B. Hydrogen-electricity hybrid energy pipelines for railway transportation: Design and economic evaluation // International Journal of Hydrogen Energy. 2024. Vol. 61. Pp. 251–264. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.02.299

14. Ding D., Wu X. Hydrogen fuel cell electric trains: Technologies, current status and future // *Applications in Energy and Combustion Science*. 2024. Vol. 17. P. 100255. DOI: 10.1016/j.jaecs.2024.100255
15. Ling-Chin J., Giampien A., Wilks M., Lau S.W., Bacon E., Sheppard I. et al. Technology roadmap for hydrogen-fueled transportation in UK // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024. Vol. 52. Pp. 705–733. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.04.131
16. Bohm M., Del Rey A.F., Pagenkopf J., Varela M., Herwatz-Polster S., Calderon B.N. Review and composition of worldwide hydrogen activities in rail sector with special focus on onboard storage and refueling technologies // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. Vol. 47. Pp. 38003–38017. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.08.279
17. Kang D., Yun S., Kim B. Review of liquid hydrogen storage tank and insulation system for the high-power locomotive // *Energies*. 2022. Vol. 15. P. 4357. DOI: 10.3390/en15124357
18. Guerra C.F., Reyes-Bozo L., Vyhmeister E., Salazar J.L., Caparros M.J., Clemente-Jul C. et al. Sustainability of hydrogen refueling stations for trains using electrolyzers // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021. Vol. 46 (26). Pp. 13748–13759. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.10.044
19. Yoo B.H., Wilailak S., Bae S.H., Gye H.R., Lee C.J. Comparison risk assessment of liquefied and gaseous hydrogen refueling stations // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021. Vol. 46 (71). Pp. 35511–35524. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.08.073
20. Pasman H.J., Rogers W.J. Risk assessment by means of Bayesian networks: a comparative study of compressed and liquefied H₂ transportation and tank station risks // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2012. Vol. 37. Pp. 17415–17425. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2012.04.051
21. Kim E., Lee K., Kim J., Lee Y., Park J., Moon I. Development of Korean hydrogen fueling station codes through risk analysis // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2011. Vol. 36. Pp. 13122–13131. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.07.053
22. Yu X., Yan W., Liu Y., Zhou P., Li B., Wang C. The flame mitigation effect of vertical barrier wall in hydrogen refueling stations // *Fuel*. 2022. Vol. 315. P. 123265. DOI: 10.1016/J.fuel.2022.123265
23. Aarskog F.G., Hansen O.R., Stromgren T., Ullebtrg O. Concept risk assessment of a hydrogen driven high speed passenger ferry // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020. Vol. 45 (2). Pp. 1359–1372. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.05.128
24. Yuan Y., Wu S., Shen B. A numerical simulation of the suppression of a hydrogen jet fires on hydrogen fuel cell ships using a fine water mist // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021. Vol. 46. Pp. 13353–13364. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.01.130
25. Adler E.J., Martins R.R. Hydrogen-powered aircraft: Fundamental concepts, key technologies, and environmental impacts // *Progress in Aerospace Sciences*. 2023. Vol. 141. P. 100922. DOI: 10.1016/j.paerosci.2023.100922
26. Jang H., Mujeeb M.P., Wang H., Park C., Hwang I., Jeong B. et al. Regulatory gap analysis for risk assessment of ammonia-fueled ships // *Ocean Engineering*. 2023. Vol. 287. P. 115751. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.115751

REFERENCES

1. Gordienko D.M., Shebeko Yu.N. Fire and explosion safety of objects of hydrogen energetics. *Occupational Safety in Industry*. 2022; 2:7-12. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-2-7-12. EDN FYZNQV. (rus).
2. Shebeko Yu.N. Normative documents on fire safety of hydrogen energetics infrastructure. *Fire Safety*. 2020; 4:36-42. (rus).
3. Gordienko D.M., Shebeko Yu.N. Fire safety of infrastructure for transport on hydrogen fuel. *Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(2):41-51. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.41-51. EDN UZHJGX. (rus).
4. Shebeko Yu.N. Fire safety of hydrogen refueling stations. *Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):42-50. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.42-50. EDN FDSVEM. (rus).
5. Shebeko Yu.N. Fire safety of storage and transportation of hydrogen. *Fire Safety*. 2023; 1:17-26. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2023.110.1.001. EDN JBMKKQ. (rus).
6. Hansen O.R. Hydrogen infrastructure — Efficient risk assessment and design optimization approach to ensure safe and practical solutions. *Process Safety and Environmental Protection*. 2020; 141:164-176. DOI: 10.1016/j.psep.2020.06.028
7. Royle M., Willoughby D. The safety of future hydrogen economy. *Process Safety and Environmental Protection*. 2011; 89(6):452-462. DOI: 10.1016/j.psep.2011.09.003
8. Pagliaro M., Iulianell A. Hydrogen refueling stations: safety and sustainability. *General Chemistry*. 2020; 6:190029. DOI: 10.13140/RG.2.2.10338.48324
9. Piraino F., Genovese M., Fragiaco P. Towards a new mobility concept for regional trains and hydrogen infrastructure. *Energy Conversion and Management*. 2021; 228:113650. DOI: 10.1016/j.enconman.2020.113650

10. Chrysoschoidis N., Escude M.R., van Wijn A.M.J. Technical potential of on-site wind powered hydrogen production refueling stations in the Netherlands. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020; 45:25096-25108. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.06.125
11. Tsuda K. Design proposal for hydrogen refueling infrastructure development in the Northeastern United States. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014; 39(14):7449-7459. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.03.002
12. Farkas B., Koller L., Kovacs I. Issues for introduction of hydrogen-powered rail vehicles on Hungarian regional railways lines through an example for Germany. *Transportation Research Procedia*. 2024; 77:35-42. DOI: 10.1016/j.trpro.2024.01.005
13. Fu L., Chen X., Chen Yu., Jiang S., Shen B. Hydrogen-electricity hybrid energy pipelines for railway transportation: Design and economic evaluation. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024; 61:251-264. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.02.299
14. Ding D., Wu X. Hydrogen fuel cell electric trains: Technologies, current status and future. *Applications in Energy and Combustion Science*. 2024; 17:100255. DOI: 10.1016/j.jaecs.2024.100255
15. Ling-Chin J., Giampien A., Wilks M., Lau S.W., Bacon E., Sheppard I. et al. Technology roadmap for hydrogen-fueled transportation in UK. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024; 52:705-733. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.04.131
16. Bohm M., Del Rey A.F., Pagenkopf J., Varela M., Herwatz-Polster S., Calderon B.N. Review and composition of worldwide hydrogen activities in rail sector with special focus on onboard storage and refueling technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022; 47:38003-38017. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.08.279
17. Kang D., Yun S., Kim B. Review of liquid hydrogen storage tank and insulation system for the high-power locomotive. *Energies*. 2022; 15:4357. DOI: 10.3390/en15124357
18. Guerra C.F., Reyes-Bozo L., Vyhmeister E., Salazar J.L., Caparros M.J., Clemente-Jul C. et al. Sustainability of hydrogen refueling stations for trains using electrolyzers. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021; 46(26):13748-13759. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.10.044
19. Yoo B.H., Wilailak S., Bae S.H., Gye H.R., Lee C.J. Comparison risk assessment of liquefied and gaseous hydrogen refueling stations. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021; 46(71):35511-35524. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.08.073
20. Pasman H.J., Rogers W.J. Risk assessment by means of Bayesian networks: a comparative study of compressed and liquefied H₂ transportation and tank station risks. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2012; 37:17415-17425. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2012.04.051
21. Kim E., Lee K., Kim J., Lee Y., Park J., Moon I. Development of Korean hydrogen fueling station codes through risk analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2011; 36:13122-13131. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.07.053
22. Yu X., Yan W., Liu Y., Zhou P., Li B., Wang C. The flame mitigation effect of vertical barrier wall in hydrogen refueling stations. *Fuel*. 2022; 315:123265. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.123265
23. Aarskog F.G., Hansen O.R., Stromgren T., Ullebtrg O. Concept risk assessment of a hydrogen driven high speed passenger ferry. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2020; 45(2):1359-1372. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.05.128
24. Yuan Y., Wu S., Shen B. A numerical simulation of the suppression of a hydrogen jet fires on hydrogen fuel cell ships using a fine water mist. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2021; 46:13353-13364. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.01.130
25. Adler E.J., Martins R.R. Hydrogen-powered aircraft: Fundamental concepts, key technologies, and environmental impacts. *Progress in Aerospace Sciences*. 2023; 141:100922. DOI: 10.1016/j.paerosci.2023.100922
26. Jang H., Mujeeb M.P., Wang H., Park C., Hwang I., Jeong B. et al. Regulatory gap analysis for risk assessment of ammonia-fueled ships. *Ocean Engineering*. 2023; 287:115751. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.115751

Поступила 14.11.2024, после доработки 03.12.2024;

принята к публикации 04.12.2024

Received November 14, 2024; Received in revised form December 3, 2024;

Accepted December 4, 2024

Информация об авторе

ШЕБЕКО Юрий Николаевич, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; РИНЦ ID: 47042; Scopus AuthorID: 7006511704; ORCID: 0000000319162547; e-mail: yn_shebeko@mail.ru

Information about the author

Yury N. SHEBEKO, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, All Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ID RSCI: 47042; Scopus AuthorID: 7006511704; ORCID: 0000000319162547; e-mail: yn_shebeko@mail.ru

Эта статья посвящена доктору технических наук, профессору, академику РАН, заслуженному деятелю науки РФ, основателю Центра пожарной статистики при Международной ассоциации пожарно-спасательных служб и просто замечательному человеку Николаю Николаевичу Брушлинскому (28.10.1934 – 01.02.2024).

Оценка обстановки с пожарами в мире

Сергей Викторович Соколов¹✉, Петер Вагнер²

¹ Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Россия

² Международная ассоциация пожарно-спасательных служб (КТИФ), г. Любляна, Словения

АННОТАЦИЯ

Введение. В ряде статей приводится оценка общего числа пожаров, погибших и травмированных людей при пожарах в мире в начале XXI в. В соответствии с этими оценками среднее число пожаров в мире оценивалось в 10–12 млн в год, число погибших при пожарах людей в 100–120 тыс. чел., а число травмированных в 300–350 тыс. чел. В настоящее время появилась информация, позволяющая пересмотреть и уточнить представленные выше оценки.

Цель и задачи. Целью настоящего исследования является оценка основных параметров обстановки с пожарами в мире на основе последних данных Центра пожарной статистики Международной ассоциации пожарно-спасательных служб (ЦПС КТИФ) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

Аналитическая часть. В соответствии с новыми оценками по числу пожаров, погибших и травмированных при пожарах людей в странах мира за период 2018–2022 гг. было установлено, что среднееежегодное число пожаров в мире можно оценить в 6–7 млн, число погибших при пожарах людей — в 70–75 тыс. чел., а число травмированных — в 250–300 тыс. чел. Данные оценки почти в 1,5 раза ниже оценок, приведенных ранее.

Приведена динамика оценки данных ВОЗ по смертности в мире в результате воздействия огня, тепла и горячих субстанций за 20 лет (2000–2020 гг.).

В статье приведены данные распределения пожаров по объектам и причинам в различных странах мира в 2022 г. Основными объектами пожаров являются: кусты, трава — 26,5 %, жилые здания — 23,1 %. Основными причинами являются: неосторожное обращение с огнем — 27 %, неправильный монтаж и эксплуатация печей и каминов — 18 %.

Приведены распределения смертности и травмирования людей при пожарах по объектам в странах мира в 2022 г. Основными объектами, где погибают и травмируются люди при пожарах, являются жилые дома — 83 и 69,4 % соответственно.

Выводы. По прошествии четверти XXI в. основные параметры обстановки с пожарами можно оценить следующими цифрами: общее число происходящих в мире пожаров можно оценить в 6–7 млн в год; общее число погибших при этих пожарах людей в 70–75 тыс. чел. в год; общее число травмированных при пожарах людей в 250–300 тыс. чел. в год.

Ключевые слова: статистика пожаров; статистика смертности; гибель и травмирование при пожарах; риск смертности при пожарах; риск травмирования при пожарах

Для цитирования: Соколов С.В., Вагнер П. Оценка обстановки с пожарами в мире // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. Т. 33. № 6. С. 67–94. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.67-84

✉ Соколов Сергей Викторович, e-mail: albrus-ssv@yandex.ru

Assessment of the fire situation in the world

Sergey V. Sokolov¹✉, Peter Wagner²

¹ The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

² International Association of Fire and Rescue Services (CTIF), Ljubljana, Slovenia

ABSTRACT

Introduction. A number of articles provide an assessment of the total number of fires, fire deaths and fire injuries in the world at the beginning of the 21st century. In accordance with these estimates, the average number of fires in the world was estimated at 10–12 million fires per year, the number of fire deaths of 100–120 thou-

sand and the number of fire injuries in 300–350 thousand. Currently, information has appeared that allows you to revise and clarify the assessments presented above.

Purpose and objectives. The target of this study is a modern assessment of the main parameters of fires in the world on the basis of the latest data of the Fire Statistics Center of the International Association of Fire and Rescue Services (CPS CTIF) and the World Health Organization (WHO).

Analytical part. In accordance with the new assessments in number of fires, fire deaths and fire injuries for the period 2018–2022, it was found that the average number of fires in the world can be estimated at 6–7 million, the number of fire deaths in 70–75 thousand, the number of fire injuries in 250–300 thousand. These estimates are almost 1.5 times lower than the assessments given earlier.

The dynamics of assessment of the WHO by mortality in the world is given as a result of the effects of fire, heat and hot substances for 20 years (2000–2020).

The article provides data on the distribution of fires by objects and by fire causes in various countries of the world in 2022. The main fire objects are: bushes, grass 26.5 % and residential buildings 23.1 %. The main fire causes are: careless handling of fire — 27 %, improper installation and operation of furnaces and fireplaces — 18 %.

The distributions of mortality and injury to people in fires by fire objects in the countries of the world in 2022 are given. The main objects where people are dying and injured in fires are residential buildings of 83 and 69.4 %, respectively.

Conclusions. After a quarter of the XXI century, the main parameters of the situation with fires can be estimated by the following numbers: the total number of fires in the world can be estimated at 6–7 million per year; the total number of fire deaths is 70–75 thousand per year; the total number of fire injured is 250–300 thousand per year.

Keywords: fire statistics; mortality statistics; fire injuries and fire deaths; fire death risk; fire injury risk

For citation: Sokolov S.V., Wagner P. Assessment of the fire situation in the world. *Pozharovzrybobezopasnost/ Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(6):67–84. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.67-84 (rus).

✉ Sergey Viktorovich Sokolov, e-mail: albrus-ssv@yandex.ru

Введение

В ряде публикаций [1–4] приводится оценка общего числа пожаров, погибших и травмированных людей при пожарах в мире в начале XXI в.

Среднее число пожаров в мире оценивалось в 10–12 млн в год, среднее число погибших при пожарах в 100–120 тыс. чел., а число травмированных в 350–400 тыс. чел. в год.

В настоящее время, по прошествии 5–6 лет появилась информация, позволяющая пересмотреть и уточнить представленные выше оценки. В основе этой информации лежат последние данные Центра пожарной статистики Международной ассоциации пожарно-спасательных служб (ЦПС КТИФ), который ежегодно обобщает данные о пожарах и их последствиях в странах мира и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), которая предоставляет ежегодные оценки смертности людей в мире по различным причинам. В частности, эта организация ведет учет людей, «погибших от воздействия огня, тепла и горячих субстанций».

Объединение и анализ данных из отчетов ВОЗ и ЦПС КТИФ позволяют получить достаточно обоснованные оценки числа пожаров и их последствий в виде гибели и травмирования людей при пожарах в мире и наблюдать их динамику во времени. Этим вопросам и посвящена настоящая статья.

Аналитическая часть

Анализ обстановки с пожарами в странах мира

Для начала определим объем оперативной работы противопожарных служб в области пожаро-

тушения, т.е. сколько выездов пожарные подразделения совершают на пожары в разных странах мира.

Согласно данным ЦПС КТИФ, представленным в отчетах^{1, 2, 3, 4, 5}, доля выездов пожарных подразделений на пожары за последние 10 лет варьируется в пределах всего 4–6 % от общего числа выездов подразделений. Дело в том, что во многих странах мира противопожарные службы уже давно превратились в многофункциональные пожарно-спасательные службы, оказывающие населению множество видов услуг экстренной (и не только) помощи. Основную долю этих услуг составляет оказание первой медицинской помощи. На рис. 1 представлена структура выездов пожарных подразделений в 2022 г. в 30 странах мира, где проживает 1,5 млрд чел.

Конечно, далеко не во всех странах противопожарная служба оказывает первую медицинскую помощь (в качестве специальной функции), но в странах, где она оказывается, ее доля может составлять 70–90 % от общего объема работы (например, Порту-

¹ World Fire Statistics. Report No. 25. Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2020. 67 p. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/2020-06/CTIF_Report25.pdf (дата обращения: 17.07.2024).

² World Fire Statistics. Report No. 26. Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2021. 66 p. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/2021-06/CTIF_Report26_0.pdf (дата обращения: 17.07.2024).

³ World Fire Statistics. Report No. 27. Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2022. 65 p. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/2022-08/CTIF_Report27_ESG_0.pdf (дата обращения: 17.07.2024).

⁴ World Fire Statistics. Report No. 28. Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2023. 144 p. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/2023-06/CTIF_Report28-ESG.pdf (дата обращения: 17.07.2024).

⁵ World Fire Statistics. Report No. 29. Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2024. 98 p. URL: https://www.ctif.org/sites/default/files/2024-06/CTIF_Report29_ERG.pdf (дата обращения: 17.07.2024).

галия — 75 %, Сингапур — 76 %, Эквадор — 83 %, Франция — 87 %)⁵,⁶.

Далее проанализируем обстановку с пожарами в различных странах мира и оценим общее число пожаров в мире в целом. Для этого используем данные ЦПС КТИФ, представленные в табл. 1. При этом надо иметь в виду, что здесь используются только официальные данные противопожарных служб разных стран мира. Отметим, что в странах мира существуют разные правила учета и регистрации пожаров. Например, во многих странах противопожарные службы не регистрируют лесные пожары (этим занимаются другие службы), в некоторых странах подлежат учету только пожары в зданиях и сооружениях, где-то не учитывают пожары на транспорте и т.п.

В табл. 1 приведена динамика пожаров за 2018–2022 гг. в 81 стране мира, где проживает более 5 млрд

⁶ Les Statistiques des Services d'Incendie et de Secours (Statistics of fire service calls in France). 2023. URL: <https://www.interieur.gouv.fr/Publications/Statistiques/Securite-civile/2022> (дата обращения: 17.07.2024).

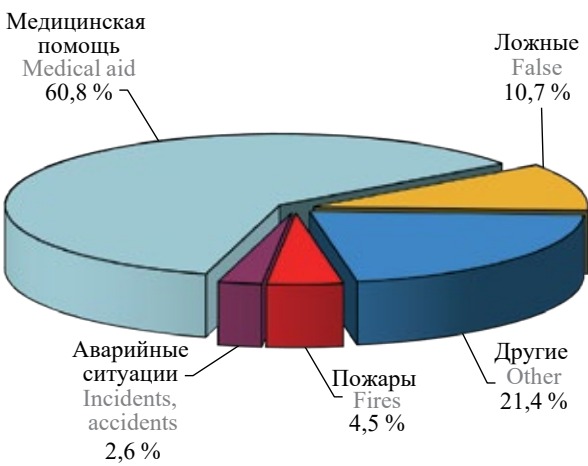


Рис. 1. Структура выездов пожарных подразделений в странах мира в 2022 г.

Fig. 1. Type of fire service calls in the countries of the world in 2022

чел., 65 % всего населения Земли (население Земли в 2022 г. составляло почти 8 млрд чел.). В этих странах за этот период времени в среднем происходило 4,3 млн пожаров в год, т.е. примерно 0,8 пожаров на 1000 чел.

Таблица 1. Динамика пожаров в странах мира за 2018–2022 гг.⁵
Table 1. Dynamics of fires in the countries of the world in 2018–2022⁵

Страна County	Население, тыс. чел. Population, thousand people	Число пожаров / Number of fires					Среднее / Average	
		2018	2019	2020	2021	2022	В год Per year	На 1000 чел. в год Per 1,000 people per year
Китай / China	1 390 000	242 943	255 625	252 000	–	–	250 189	0,18
Индия / India	1 359 000	1 600 000	–	–	–	–	1 600 000	1,18
США / USA	333 271	1 318 500	1 291 500	1 388 500	1 353 500	1 504 500	1 371 300	4,11
Нигерия / Nigeria	206 100	–	–	2056	–	–	2056	0,01
Бангладеш Bangladesh	171 186	19 642	24 074	21 073	26 021	27 171	23 596	0,14
Россия / Russia	146 781	144 199	471 426	454 206	405 971	352 509	365 662	2,49
Япония / Japan	125 502	37 981	37 683	34 691	35 222	36 375	36 390	0,29
Египет / Egypt	110 990	–	50 662	51 963	51 533	49 341	50 875	0,46
Филиппины Phillippines	108 771	16 675	20 109	15 195	–	–	17 326	0,16
Вьетнам Vietnam	100 300	4182	3790	2764	2245	3440	3284	0,03
Германия Germany	83 020	248 077	224 966	230 000	197 834	–	225 219	2,71
Франция / France	67 244	305 500	316 100	282 800	254 151	286 600	289 030	4,30
Великобритания Great Britain	65 185	204 525	222 511	189 266	186 571	191 164	198 807	3,05
Италия / Italy	60 317	213 116	252 384	242 205	264 664	270 068	248 487	4,12
Мьянма Myanmar	53 900	1739	2155	2139	2107	–	2035	0,04

Страна County	Население, тыс. чел. Population, thousand people	Число пожаров / Number of fires					Среднее / Average	
		2018	2019	2020	2021	2022	В год Per year	На 1000 чел. в год Per 1,000 people per year
Южная Корея Korea (South)	51 738	42 338	40 030	38 659	36 267	40 108	39 480	0,76
Испания / Spain	47 486	118 892	129 544	123 800	127 693	133 029	126 592	2,67
Аргентина Argentina	44 556	87 853	–	–	–	–	87 853	1,97
Украина / Ukraine	41 148	78 602	96 812	101 279	79 457	80 652	87 360	2,12
Польша / Poland	37 766	149 434	153 500	128 800	106 466	135 965	134 833	3,57
Саудовская Ара- вия / Saudi Arabia	34 218	44 602	44 581	–	–	–	44 592	1,30
Малайзия Malaysia	33 940	36 758	50 720	38 865	36 886	28 475	38 341	1,13
Гана / Ghana	33 475	–	–	–	–	6796	6796	0,20
Перу / Peru	32 000	13 729	14 263	14 249	–	13 167	13 852	0,43
Непал / Nepal	30 430	167	–	–	–	–	167	0,01
Тайвань / Taiwan	23 561	27 922	22 866	51 495	–	–	34 094	1,45
Казахстан Kazakhstan	20 075	14 557	13 850	13 933	12 256	12 219	13 363	0,67
Румыния Romania	19 053	28 468	–	33 883	30 597	–	30 983	1,63
Эквадор / Ecuador	18 000	–	–	–	–	3221	3221	0,18
Нидерланды Netherlands	17 591	76 020	38 900	–	44 313	–	53 078	3,02
Сенегал / Senegal	17 098	–	3391	–	–	–	3391	0,20
Камбоджа Cambodia	16 600	553	914	937	670	454	706	0,04
Бельгия / Belgium	11 584	–	–	35 208	32 619	32 972	33 600	2,90
Тунис / Tunis	11 403	–	1659	–	–	–	1659	0,15
Иордания / Jordan	11 302	24 490	36 650	32 165	27 983	32 394	30 736	2,72
Чехия / Czech Republic	10 827	20 720	18 813	17 346	16 162	20 813	18 771	1,73
Греция / Greece	10 788	24 459	27 784	31 908	28 894	30 386	28 686	2,66
Швеция / Sweden	10 379	31 376	26 445	25 502	–	–	27 774	2,68
Азербайджан Azerbaijan	10 353	–	–	2118	2092	2095	2102	0,20
ОАЭ / UAE	10 207	–	–	–	–	800	800	0,08
Португалия Portugal	9857	–	–	–	–	29 517	29 517	2,99
Венгрия / Hungary	9856	19 355	20 913	20 716	22 428	18 516	20 386	2,07
Израиль / Israel	9656	49 873	50 958	46 458	81 073	78 257	61 324	6,35
Беларусь / Belarus	9300	6435	6100	6071	6256	5938	6160	0,66
Австрия / Austria	9104	43 554	43 370	54 701	85 361	64 154	58 228	6,40

Продолжение табл. 1 / Continue of the Table 1

Страна County	Население, тыс. чел. Population, thousand people	Число пожаров / Number of fires					Среднее / Average	
		2018	2019	2020	2021	2022	В год Per year	На 1000 чел. в год Per 1,000 people per year
Швейцария Switzerland	8703	13 178	12 935	13 475	12 600	–	13 047	1,50
Парагвай Paraguay	7453	–	–	–	–	5295	5295	0,71
Папуа — Новая Гвинея Papua New Guinea	7200	–	–	–	219	123	171	0,02
Сербия / Serbia	6797	24 635	–	–	–	24 557	24 596	3,62
Болгария Bulgaria	6520	29 448	42 141	33 693	30 918	35 992	34 438	5,28
Дания / Denmark	5825	15 081	11 206	10 920	–	10 310	11 879	2,04
Сингапур Singapore	5637	3885	2862	1877	1844	1799	2453	0,44
Финляндия Finland	5565	14 264	–	12 043	12 245	11 909	12 615	2,27
Киргизская Республика Kyrgyz Republic	5522	4808	3955	2778	3050	3137	3546	0,64
Новая Зеландия New Zealand	5151	18 519	20 714	22 575	20 005	14 304	19 223	3,73
Словакия Slovakia	5042	9288	9602	8704	7710	–	8826	1,75
Ирландия Ireland	5033	26 534	20 756	21 759	20 545	20 126	21 944	4,36
Коста-Рика Costa Rica	4973	23 862	–	–	–	–	23 862	4,80
Оман / Oman	4527	4602	–	–	4057	–	4330	0,96
Панама / Panama	4395	–	–	–	–	5326	5326	1,21
Кувейт / Kuwait	4137	3394	–	–	–	–	3394	0,82
Хорватия / Croatia	3872	9968	14 980	14 452	14 087	15 479	13 793	3,56
Грузия / Georgia	3689	10 769	14 800	13 511	11 150	13 273	12 701	3,44
Уругвай / Uruguay	3555	–	–	–	22 691	24 020	23 356	6,57
Монголия Mongolia	3409	3612	4330	3178	2671	2918	3342	0,98
Молдова Moldova	3273	1650	1653	1758	1608	1745	1683	0,51
Катар / Qatar	2881	11 848	11 509	8846	–	–	10 734	3,73
Ямайка / Jamaica	2827	10 069	10 406	10 209	8003	7000	9137	3,23
Литва / Lithuania	2805	–	–	6519	8333	8410	7754	2,76
Армения Armenia	2728	1922	2260	2196	–	–	2126	0,78
Словения Slovenia	2108	4119	–	7778	7819	–	6572	3,12

Страна County	Население, тыс. чел. Population, thousand people	Число пожаров / Number of fires					Среднее / Average	
		2018	2019	2020	2021	2022	В год Per year	На 1000 чел. в год Per 1,000 people per year
Латвия / Latvia	1857	9134	10 095	7551	—	7168	8487	4,57
Эстония / Estonia	1331	5353	4675	3989	3873	3203	4219	3,17
Мауритиус Mauritius	1300	6664	—	—	—	—	6664	5,13
Кипр / Cyprus	918	—	—	7203	7347	6451	7000	7,63
Мутан / Bhutan	782	100	—	100	155	102	114	0,15
Люксембург Luxemburg	602	1995	—	—	2295	—	2145	3,56
Бруней / Brunei	445	1249	2045	1124	756	717	1178	2,65
Барбадос Barbados	277	1925	—	—	—	—	1925	6,95
Андорра Andorra	78	—	—	247	—	—	247	3,17
Лихтенштейн Liechtenstein	39	42	49	45	35	48	44	1,12
Всего / Total	5 166 174	5 569 153	4 216 021	4 203 481	3 761 308	3 714 508	4 292 894	0,83

Если это соотношение проэкстраполировать на оставшиеся 35 % населения мира, то общее ежегодное число пожаров в мире можно оценить в 6–7 млн. Полученные оценки существенно отличаются от оценок, представленных в публикациях [1–4], где общее число пожаров оценивалось в 10–12 млн пожаров в год.

На рис. 2 представлено распределение среднего числа пожаров на 1000 чел. по странам мира за период 2018–2022 гг. Вариационный размах данного распределения составляет 7,6 единиц, т.е. разница между странами, имеющими минимальное (Непал — 0,01) и максимальное число пожаров (Кипр — 7,6) на 1000 чел., составляет 760 раз. Такая большая разница между странами объясняется как действительно различной реальной обстановкой с пожарами, складывающейся в этих странах мира, так и разными правилами регистрации пожаров, принятой в каждой стране.

Далее рассмотрим, где происходят пожары в странах мира. На рис. 3 представлено распределение пожаров по объектам пожаров в 38 странах мира (представляющих 1,5 млрд чел.) в 2022 году⁵. Из рис. 2 видно, что большинство пожаров происходит вне зданий — 26,5 % — это растительные пожары (трава, кусты), далее идут пожары в жилых зданиях и сооружениях — 23,1 %, затем пожары мусора — 13,5 %, транспорта — 12,5 %, других зданий и сооружений — 7,5 %, леса — 1,5 % и все остальные объекты пожаров — 15,5 %. Эти процент-

ные соотношения довольно устойчивы на протяжении нескольких лет^{1, 2, 3, 4, 5}.

Теперь рассмотрим, каковы основные причины пожаров в странах мира. На рис. 3 представлено распределение по причинам пожаров в 21 стране мира, где проживало более 700 млн чел. в 2022 году⁵. Из рис. 4 видно, что основной причиной пожаров является неосторожное обращение с огнем — 27 %, сюда же можно присовокупить курение — 6 % и игры с огнем — 1 %, таким образом, «неосторожность» можно оценить в 34 %. Далее идут неправильный монтаж и эксплуатация печей и каминов — 18 %, электрооборудования — 15 %, поджоги — 8 % и в заключение по 12 % другие причины и другие неизвестные причины.

Анализ смертности людей при пожарах в странах мира

Для анализа смертности людей при пожарах, как и в публикациях [1, 3], будем использовать данные двух организаций: ЦПС КТИФ и ВОЗ.

Напомним, что ЦПС КТИФ использует официальные данные о гибели людей при пожарах, предоставленные противопожарными службами, а ВОЗ использует оценочные данные медицинских департаментов различных стран [3].

Необходимо отметить, что разница в правилах учета погибших людей при пожарах в разных странах мира заключается, в основном, в периодах

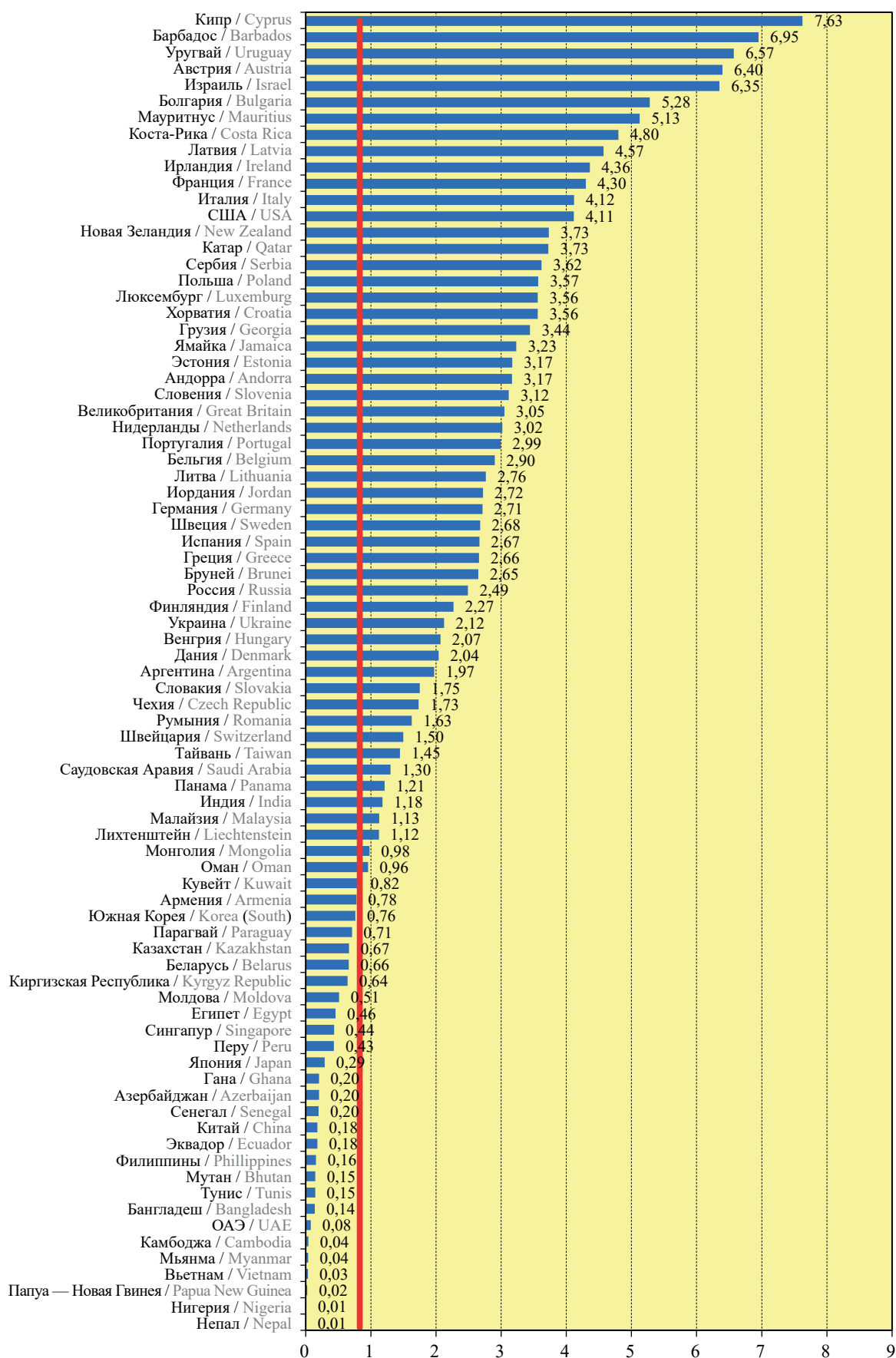


Рис. 2. Распределение среднего числа пожаров (2018–2022 гг.) на 1000 чел. в странах мира

Fig. 2. Distribution average number of fires (2018–2022) per 1,000 people in the countries of the world

времени, прошедших после пожара, когда человек умирает и считается, что он погиб на пожаре. Например, в России этот период времени составляет 30 суток, в большинстве европейских государств — 30–40 суток [5, 6], в США — 1 год [7], а в Великобритании вообще нет конкретного срока⁷. При этом можно отметить, что в соответствии с российской статистикой [8–10] смертность после пожаров (в больницах) составляет не более 10–15 % от общей смертности при пожарах.

Если говорить о данных ВОЗ, то они включают оценку гибели от воздействия огня, тепла и горячих субстанций [3], т.е. более широкий спектр, чем гибель только при пожарах. Поэтому значения данных ВОЗ ожидаемо должны быть больше, чем данные противопожарных служб, и их можно считать верхней (максимальной) границей. В целом так и есть, однако нередко случаи, когда данные ВОЗ для отдельных стран меньше, чем данные противопожарных служб, например, в России в 2020 г. при пожарах погибло 8262 чел., а по данным ВОЗ — 6387 чел., в США — 3500 чел. (ВОЗ — 3180 чел.), в Чехии — 144 чел. (ВОЗ — 54) и другие.

Да и сами оценки ВОЗ существенно меняются со временем. В табл. 2 приведена динамика оценки погибших от огня, тепла и горячих субстанций по данным ВОЗ за последние 20 лет^{8, 9, 10, 11}. Из табл. 2 видно, что оценка смертности по указанной причине, сделанная в 2019 г., отличается от оценки, сделанной

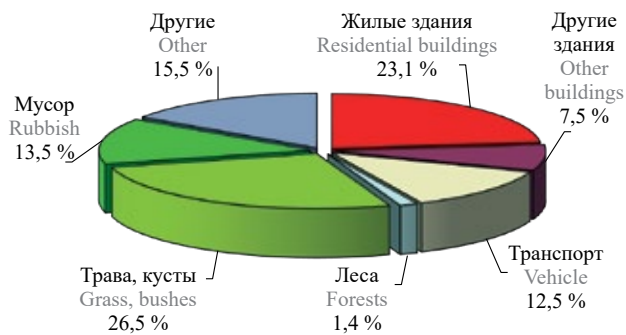


Рис. 3. Распределение пожаров по объектам пожаров в странах мира в 2022 г.

Fig. 3. Distribution of fires by incident type in the countries in 2022



Рис. 4. Распределение пожаров по причинам пожаров в странах мира в 2022 г.

Fig. 4. Distribution of fires by fire causes in the countries of the world in 2021–2022

в 2015 г.: для 2000 г. на 44 %; для 2005 г. на 42 %; для 2010 г. на 36 %; для 2015 г. на 38 %.

Сравнение данных ЦПС КТИФ и оценок ВОЗ в разные годы (по 35 странам в 2012 г. и по 17 странам в 2016 г.) приведено в публикациях [1, 3]. Несовпадение данных ЦПС КТИФ и ВОЗ оценивалось тогда в 33–42 %.

Здесь мы тоже приведем сравнение данных этих двух организаций. В табл. 3 представлено сравнение данных по гибели людей на пожарах ЦПС КТИФ и данных оценок ВОЗ по смертности от огня, тепла и горячих субстанций по 75 странам

⁷ Fire statistical. The UK Home Office collects detailed information on incidents attended by Fire and Rescue Services. Department for Communities and Local Government. 2022. URL: <https://www.gov.uk/government/collections/fire-statistics> (дата обращения: 17.07.2024).

⁸ World Health Rankings. 2020. URL: <https://www.worldlifeexpectancy.com/cause-of-death/fires/by-country/> (дата обращения: 17.07.2024).

⁹ WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2019. URL: https://www.who.int/docs/default-source/gho-documents/global-health-estimates/gho2019_daly-methods.pdf?sfvrsn=31b25009_7 (дата обращения: 17.07.2024).

¹⁰ World Health Statistics 2020. Monitoring health for the SDGs. URL: <https://www.aidshub.org/sites/default/files/resource/who-world-health-statistics-2020.pdf> (дата обращения: 17.07.2024).

¹¹ Fire deaths rates. 2017. URL: <https://www.worldlifeexpectancy.com/cause-of-death/fires/by-country/> (дата обращения: 17.07.2024).

Таблица 2. Динамика оценки погибших от огня, тепла и горячих субстанций по данным ВОЗ за последние 20 лет
Table 2. Dynamics estimates of deaths from fire, heat and hot substances according to WHO over the past 20 years

Причина смерти — огонь, тепло и горячие субстанции Cause of death — fire, heat and hot substances	Годы / Years				
	2000	2005	2010	2015	2019
Оценки, сделанные в 2015 г. Estimates in 2015	221 522	207 594	186 344	180 051	—
Оценки, сделанные в 2020 г. Estimates in 2020	124 426	121 399	119 947	111 700	114 355

Таблица 3. Распределение данных ЦПС КТИФ по смертности на пожарах (средние за 2018–2022 гг.) и оценок ВОЗ по гибели от огня, тепла и горячих субстанций (за 2020 г.) в странах мира

Table 3. Distribution of the fire deaths by data of the CFS CTIF (average for 2018–2022) and by data of WHO (for 2020) in the countries of the world

Страна Country	Население, тыс. чел. (2022) Population, thousand people (2022)	Данные ВОЗ за 2020 г. WHO data for 2020	Данные ЦПС КТИФ (среднее за 2018–2022 гг.) CFS CTIF data (2018–2022 average)	Разница Difference	Разница, % Difference, %
Китай / China	1 390 000	10 500	1371	9129	86,9
Индия / India	1 359 000	23 260	11 831	11 429	49,1
США / USA	333 271	3180	3690	–510	–16,0
Нигерия / Nigeria	206 100	7132	147	6985	97,9
Бангладеш / Bangladesh	171 186	1271	139	1133	89,1
Россия / Russia	146 781	6380	8285	–1905	–29,9
Япония / Japan	125 502	1010	1420	–410	–40,6
Египет / Egypt	110 990	1570	227	1344	85,6
Филиппины / Philippines	108 771	600	342	258	42,9
Вьетнам / Vietnam	100 300	595	96	499	83,8
Германия / Germany	83 020	360	374	–14	–3,8
Франция / France	67 244	403	284	119	29,4
Великобритания / Great Britain	65 185	335	331	4	1,3
Италия / Italy	61 000	271	237	34	12,5
Мьянма / Myanmar	53 900	227	80	147	64,8
Южная Корея / Korea (South)	51 738	263	327	–64	–24,3
Испания / Spain	47 486	185	178	7	3,7
Аргентина / Argentina	44 556	280	163	117	41,8
Украина / Ukraine	41 148	1652	1822	–170	–10,3
Польша / Poland	37 766	474	509	–35	–7,5
Канада / Canada	35 544	192	150	42	21,9
Саудовская Аравия Saudi Arabia	34 218	825	154	672	81,4
Малайзия / Malaysia	33 940	336	120	216	64,3
Гана / Ghana	33 475	729	50	679	93,1
Непал / Nepal	30 430	184	8	176	95,7
Тайвань / Taiwan	23 561	–	167	–	–
Казахстан / Kazakhstan	20 075	354	373	–19	–5,2
Румыния / Romania	19 053	421	267	154	36,5
Эквадор / Ecuador	18 000	175	20	155	88,6
Нидерланды / Netherlands	17 591	49	36	13	27,2
Камбоджа / Cambodia	16 600	224	28	196	87,6
Бельгия / Belgium	11 584	75	59	16	20,9
Иордания / Jordan	11 302	153	38	115	75,2
Чехия / Czech Republic	10 827	54	122	–68	–125,9
Греция / Greece	10 788	146	71	75	51,2
Швеция / Sweden	10 379	65	80	–15	–23,6
Азербайджан / Azerbaijan	10 353	473	46	427	90,3

Страна Country	Население, тыс. чел. (2022) Population, thousand people (2022)	Данные ВОЗ за 2020 г. WHO data for 2020	Данные ЦПС КТИФ (среднее за 2018–2022 гг.) CFS CTIF data (2018–2022 average)	Разница Difference	Разница, % Difference, %
ОАЭ / UAE	10 207	178	6	172	96,6
Португалия / Portugal	9857	108	51	57	52,8
Венгрия / Hungary	9856	103	104	–1	–1,4
Израиль / Israel	9656	24	24	0	–1,0
Беларусь / Belarus	9300	620	590	30	4,9
Австрия / Austria	9104	36	47	–11	–30,6
Швейцария / Switzerland	8703	21	19	3	11,9
Папуа — Новая Гвинея / Papua New Guinea	7200	488	2	486	99,6
Сербия / Serbia	6787	64	96	–32	–49,2
Болгария / Bulgaria	6520	125	150	–25	–19,8
Дания / Denmark	5825	53	58	–5	–9,4
Сингапур / Singapore	5637	7	3	4	57,1
Финляндия / Finland	5565	62	52	10	16,8
Киргизская Республика Kyrgyz Republic	5522	65	47	18	27,3
Новая Зеландия / New Zealand	5151	17	20	–3	–15,7
Норвегия / Norway	5109	45	42	3	7,4
Словакия / Slovakia	5042	39	50	–11	–28,8
Ирландия / Ireland	5033	30	20	10	32,0
Коста-Рика / Costa Rica	4973	10	30	–20	–200,0
Панама / Panama	4395	11	6	5	45,5
Кувейт / Kuwait	4137	28	24	4	14,3
Хорватия / Croatia	3872	34	30	4	12,9
Грузия / Georgia	3689	140	54	86	61,1
Уругвай / Uruguay	3426	54	44	10	18,5
Монголия / Mongolia	3409	94	62	32	34,5
Молдова / Moldova	3273	70	112	–42	–59,3
Катар / Qatar	2881	42	7	35	82,5
Ямайка / Jamaica	2827	16	34	–18	–113,8
Литва / Lithuania	2805	51	83	–32	–63,5
Армения / Armenia	2728	13	12	1	7,7
Словения / Slovenia	2108	8	7	1	12,5
Латвия / Latvia	1857	103	79	24	23,5
Эстония / Estonia	1331	41	43	–2	–5,4
Кипр / Cyprus	918	5	22	–17	–333,3
Бутан / Bhutan	782	8	3	5	59,4
Люксембург / Luxemburg	602	3	0	3	100,0
Бруней / Brunei	445	3	2	2	50,0
Исландия / Iceland	357	1	3	–2	–233,3
Всего / Total	5 133 553	67 223	35 678	31 545	46,9

мира. Как видно из итоговой строки табл. 3, общая разница между данными ЦПС КТИФ и ВОЗ составляет 47 %, т.е. показатели ВОЗ почти в 2 раза выше, чем показатели ЦПС КТИФ. В качестве отдельного примера можно рассмотреть данные по Индии, где абсолютные показатели смертности как по данным ЦПС КТИФ (11 931 чел.), так и по данным ВОЗ (23 260 чел.) являются максимальными в мире. Как видно, здесь разница составляет почти 50 % и связано это с тем, что в Индии достаточно много криминальных случаев (которые не являются пожарами), связанных с сожжением и самосожжением.

Далее произведем оценку смертности людей при пожарах, совместно используя данные ЦПС КТИФ и ВОЗ. В табл. 4 представлена оценка погибших

при пожарах людей в 100 странах мира, где проживает 7,1 млрд чел., т.е. 88 % всего населения мира. Причем по 73 странам использовались данные ЦПС КТИФ (средние значения за 5 лет с 2018 по 2022 г.), а по 27 странам — данные ВОЗ (значения за 2020 г.).

Исходя из представленных данных табл. 4, среднеежегодное число погибших для 88 % населения мира за рассматриваемый период времени оценивается в 63,4 тыс. чел., при соотношении 0,9 погибших на 100 тыс. чел. Если данное соотношение проэкстраполировать на оставшиеся 12 % населения, то общее число погибших людей при пожарах в мире можно оценить в диапазоне 70–75 тыс. чел. в год. На рис. 5 представлено распределение числа погибших на 100 тыс. чел. в 100

Таблица 4. Распределение данных ЦПС КТИФ по смертности на пожарах (средние за 2018–2022 гг.) и оценок ВОЗ (*) по гибели от огня, тепла и горячих субстанций (за 2020 г.) в странах мира

Table 4. Distribution of the fire deaths by data of the CFS CTIF (average for 2018–2022) and by data of WHO (*) (for 2020) in the countries of the world

Страна Country	Население, тыс. чел. Population, thousand people	Среднее число погибших Average number of fire deaths	
		В год Per year	На 100 тыс. чел. Per 100 thousand people
Китай / China	1 390 000	1371	0,10
Индия / India	1 359 000	11 831	0,87
США / USA	333 271	3690	1,11
Индонезия* / Indonesia*	280 000	1400	0,50
Пакистан* / Pakistan*	241 500	4300	1,78
Бразилия* / Brasil*	220 100	1100	0,50
Нигерия / Nigeria	206 100	147	0,07
Бангладеш / Bangladesh	171 186	139	0,08
Россия / Russia	146 781	8285	5,64
Мексика* / Mexico*	133 600	600	0,45
Япония / Japan	125 502	1420	1,13
Эфиопия* / Ethiopia*	118 550	3255	2,75
Египет / Egypt	110 990	227	0,20
Филиппины / Philippines	108 771	342	0,31
Демократическая Республика Конго* Democratic Republic Congo*	108 000	2000	1,85
Вьетнам / Vietnam	100 300	96	0,10
Турция* / Turkey*	85 280	350	0,41
Иран* / Iran*	85 000	1850	2,18
Германия / Germany	83 020	374	0,45
Таиланд* / Thailand*	70 000	620	0,89
Танзания* / Tanzania*	68 000	1400	2,06
Франция / France	67 244	284	0,42

Великобритания / Great Britain	65 185	331	0,51
Италия / Italy	61 000	237	0,39
Кения* / Kenya*	57 000	1300	2,28
Мьянма / Myanmar	53 900	80	0,15
Уганда* / Uganda*	52 000	880	1,69
Южная Корея / Korea (South)	51 738	327	0,63
Колумбия* / Colombia*	50 000	130	0,26
Судан* / Sudan*	49 000	1300	2,65
Испания / Spain	47 486	178	0,38
Алжир* / Algeria*	46 700	640	1,37
Аргентина / Argentina	44 556	163	0,37
Ирак* / Iraq*	41 300	750	1,82
Украина / Ukraine	41 148	1822	4,43
Марокко* / Morocco*	37 800	905	2,39
Польша / Poland	37 766	509	1,35
Узбекистан* / Uzbekistan*	37 183	542	1,46
Канада / Canada	35 544	150	0,42
Ангола* / Angola*	34 800	840	2,41
Венесуэла* / Venezuela*	34 378	145	0,42
Саудовская Аравия / Saudi Arabia	34 218	154	0,45
Афганистан* / Afghanistan*	34 200	350	1,02
Малайзия / Malaysia	33 940	120	0,35
Гана / Ghana	33 475	50	0,15
Мозамбик* / Mozambique*	31 400	1320	4,20
Непал / Nepal	30 430	8	0,03
Мадагаскар* / Madagascar*	28 700	660	2,30
Австралия* / Australia*	27 000	55	0,20
Тайвань / Taiwan	23 561	167	0,71
Казахстан / Kazakhstan	20 075	373	1,86
Румыния / Romania	19 053	267	1,40
Эквадор / Ecuador	18 000	20	0,11
Нидерланды / Netherlands	17 591	36	0,20
Камбоджа / Cambodia	16 600	28	0,17
Бельгия / Belgium	11 584	59	0,51
Иордания / Jordan	11 302	38	0,34
Чехия / Czech Republic	10 827	122	1,13
Греция / Greece	10 788	71	0,66
Швеция / Sweden	10 379	80	0,77
Азербайджан / Azerbaijan	10 353	46	0,44
ОАЭ / UAE	10 207	6	0,06

Окончание табл. 4 / End of the Table 4

Португалия / Portugal	9857	51	0,52
Венгрия / Hungary	9856	104	1,06
Израиль / Israel	9656	24	0,25
Беларусь / Belarus	9300	590	6,34
Австрия / Austria	9104	47	0,52
Швейцария / Switzerland	8703	19	0,21
Папуа — Новая Гвинея / Papua New Guinea	7200	2	0,03
Сербия / Serbia	6787	96	1,41
Болгария / Bulgaria	6520	150	2,30
Дания / Denmark	5825	58	1,00
Сингапур / Singapore	5637	3	0,05
Финляндия / Finland	5565	52	0,93
Киргизская Республика / Kyrgyz Republic	5522	47	0,86
Новая Зеландия / New Zealand	5151	20	0,38
Норвегия / Norway	5109	42	0,82
Словакия / Slovakia	5042	50	1,00
Ирландия / Ireland	5033	20	0,41
Коста-Рика / Costa Rica	4973	30	0,60
Панама / Panama	4395	6	0,14
Кувейт / Kuwait	4137	24	0,58
Хорватия / Croatia	3872	30	0,76
Грузия / Georgia	3689	54	1,47
Уругвай / Uruguay	3426	44	1,28
Монголия / Mongolia	3409	62	1,81
Молдова / Moldova	3273	112	3,41
Катар / Qatar	2881	7	0,25
Ямайка / Jamaica	2827	34	1,21
Литва / Lithuania	2805	83	2,97
Армения / Armenia	2728	12	0,44
Словения / Slovenia	2108	7	0,33
Латвия / Latvia	1857	79	4,24
Эстония / Estonia	1331	43	3,25
Кипр / Cyprus	918	22	2,36
Бутан / Bhutan	782	3	0,42
Люксембург / Luxembourg	602	0	0,00
Бруней / Brunei	445	2	0,34
Исландия / Iceland	357	3	0,93
Лихтенштейн / Liechtenstein	39	0	1,03
Всего / Total	7 105 083	62 371	0,88

Примечание. * — данные ВОЗ.

Note. * — data of WHO.

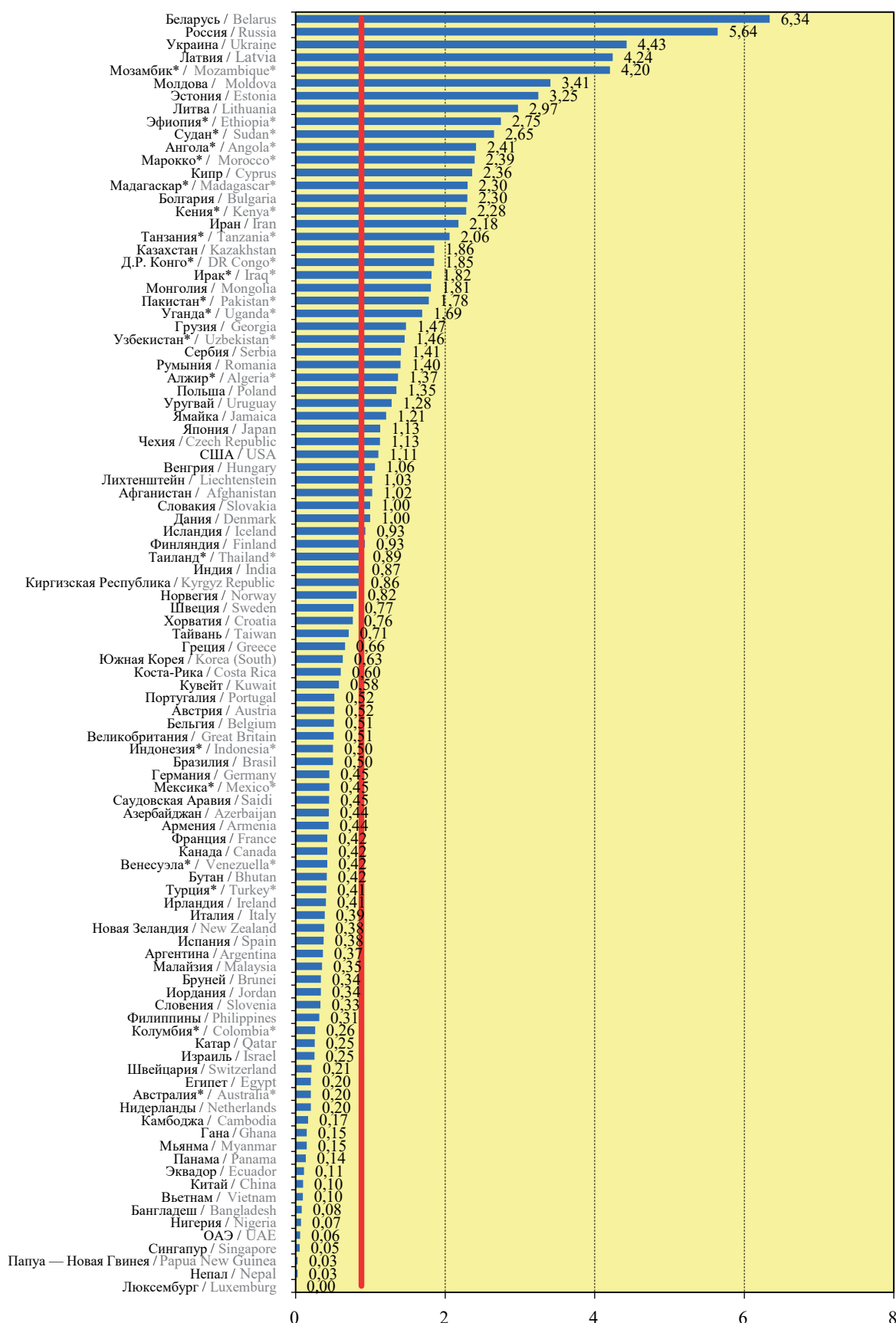


Рис. 5. Распределение числа погибших при пожарах людей на 100 тыс. чел. в странах мира (данные ЦПС КТИФ средние за 2018–2022 гг., * — данные ВОЗ за 2020 г.)

Fig. 5. Distribution average number of fire deaths per 100 thousand people in the countries of the world (data of CFS CTIF average for 2018–2022, * — data of WHO for 2020)

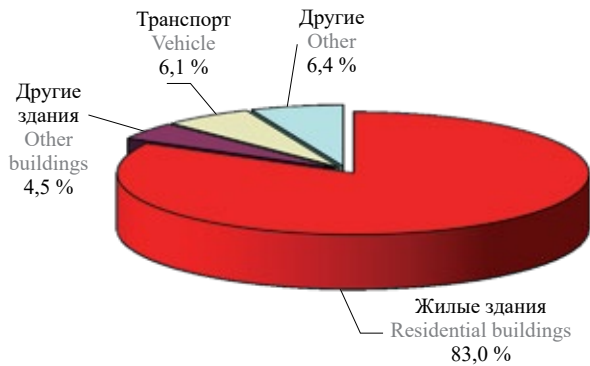


Рис. 6. Распределение смертности людей по объектам пожаров в странах мира в 2022 г.
Fig. 6. Distribution of fire deaths by types in the countries in 2022

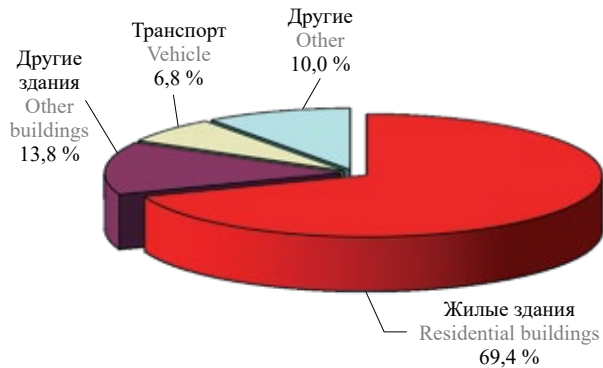


Рис. 7. Распределение травмирования людей по объектам пожаров в странах мира в 2022 г.
Fig. 7. Distribution of fire injuries by types in the countries in 2022

странах мира. Данные варьируют от максимума 6,34 (Беларусь) до минимума 0 (Люксембург).

Полученные оценки смертности при пожарах также существенно отличаются от оценок, представленных в публикациях [1–4], где общее число погибших при пожарах людей оценивалась в 100–120 тыс. чел. в год.

На рис. 6 и 7 представлено распределение смертности и травмирования людей по объектам пожаров. Основная доля погибших и травмированных при пожарах людей приходится на жилой сектор — 83 и 69,4 % соответственно.

Анализ травмирования людей при пожарах в странах мира

Для анализа травмирования людей при пожарах используем данные ЦПС КТИФ по 54 странам мира, где проживает 1,8 млрд чел. В табл. 5 представлена динамика травмированных людей при пожарах в странах мира за 2018–2022 гг. По представленным данным видно, что в среднем по странам мира 3,5 травмированных приходится на 100 тыс. чел., т.е. травмированных в 3,5 раза больше, чем погибших при пожарах. Таким образом, общее число травмированных при пожарах людей в мире ориентировочно можно оценить в 250–300 тыс. чел. в год.

Таблица 5. Динамика травмированных при пожарах людей в странах мира за 2018–2022 гг.⁵
Table 5. Trends in fire injuries in the countries of the world in 2018–2022⁵

Страна Country	Население, тыс. чел. Population, thousand people	Число травмированных Number of injuries					Среднее число Average number	
		2018	2019	2020	2021	2022	В год Per year	На 100 тыс. чел. Per 100 thousand people
США / USA	333 271	15 200	16 600	15 200	14 700	13 250	14 990	4,50
Бангладеш / Bangladesh	171 186	664	586	317	–	495	516	0,30
Россия / Russia	146 781	9650	8461	8434	8403	8165	8623	5,87
Япония / Japan	126 146	6114	5865	5583	5433	5719	5743	4,55
Египет / Egypt	110 990	–	1203	878	824	855	940	0,85
Филиппины / Philippines	108 771	–	1248	721	–	–	985	0,91
Вьетнам / Vietnam	100 300	208	126	144	130	109	143	0,14
Франция / France	67 244	1282	1289	24 798	13 905	1398	8534	12,69
Великобритания / Great Britain	64 903	8944	8750	–	7772	7599	8266	12,74
Мьянма / Myanmar	53 900	192	226	220	151	–	197	0,37
Южная Корея / Korea (South)	51 738	2225	2219	1915	1854	2323	2107	4,07
Украина / Ukraine	41 148	1516	1523	1453	1383	1607	1496	3,64
Польша / Poland	37 766	4335	3782	2838	2444	3237	3327	8,81

Страна Country	Население, тыс. чел. Population, thousand people	Число травмированных Number of injuries					Среднее число Average number	
		2018	2019	2020	2021	2022	В год Per year	На 100 тыс. чел. Per 100 thousand people
Саудовская Аравия Saudi Arabia	34 218	1756	2059	–	–	–	1908	5,57
Малайзия / Malaysia	33 940	–	455	413	–	400	423	1,25
Гана / Ghana	33 475	–	–	–	–	241	241	0,72
Непал / Nepal	30 430	30	–	–	–	–	30	0,10
Тайвань / Taiwan	23 561	–	–	464	–	–	464	1,97
Казахстан / Kazakhstan	20 075	412	978	363	413	314	496	2,47
Румыния / Romania	19 053	663	–	681	681	–	675	3,54
Эквадор / Ecuador	18 000	–	–	–	–	107	107	0,59
Камбоджа / Cambodia	16 600	52	46	97	58	59	62	0,38
Бельгия / Belgium	11 584	–	–	1247	1573	1426	1415	12,22
Иордания / Jordan	11 302	1058	1092	–	–	1648	1266	11,20
Чехия / Czech Republic	10 827	1466	1388	1250	1221	1552	1375	12,70
Греция / Greece	10 788	187	36	44	44	95	81	0,75
Швеция / Sweden	10 379	390	882	784	–	–	685	6,60
Португалия / Portugal	9857	–	–	–	–	1303	1303	13,22
Венгрия / Hungary	9856	832	758	756	629	792	753	7,64
Израиль / Israel	9656	–	686	669	–	–	678	7,02
Беларусь / Belarus	9300	311	444	408	388	502	411	4,42
Сербия / Serbia	7187	347	–	–	–	–	347	4,83
Болгария / Bulgaria	6520	295	293	–	–	290	293	4,49
Сингапур / Singapore	5637	90	142	184	194	171	156	2,77
Финляндия / Finland	5565	670	–	595	531	365	540	9,71
Киргизская Республика Kyrgyz Republic	5522	54	–	–	–	24	39	0,71
Новая Зеландия / New Zealand	5151	–	273	301	308	187	267	5,19
Словакия / Slovakia	5042	194	343	240	191	–	242	4,80
Коста-Рика / Costa Rica	4973	73	–	–	–	–	73	1,47
Хорватия / Croatia	3872	117	166	131	127	158	140	3,61
Грузия / Georgia	3689	247	274	203	184	193	220	5,97
Уругвай / Uruguay	3426	–	–	–	381	–	381	11,12
Монголия / Mongolia	3409	–	68	45	–	33	49	1,43
Катар / Qatar	2881	115	–	105	–	–	110	3,82
Ямайка / Jamaica	2827	97	60	89	86	49	76	2,70
Литва / Lithuania	2805	174	164	141	172	165	163	5,82

Страна Country	Население, тыс. чел. Population, thousand people	Число травмированных Number of injuries					Среднее число Average number	
		2018	2019	2020	2021	2022	В год Per year	На 100 тыс. чел. Per 100 thousand people
Армения / Armenia	2728	–	–	42	–	–	42	1,54
Словения / Slovenia	2108	284	209	155	33	–	170	8,08
Латвия / Latvia	1857	301	279	273	–	257	278	14,94
Эстония / Estonia	1331	100	113	120	103	83	104	7,80
Кипр / Cyprus	880	–	–	103	19	31	51	5,80
Люксембург / Luxemburg	643	–	–	–	46	–	46	7,15
Бруней / Brunei	445	–	5	17	1	4	7	1,52
Лихтенштейн / Liechtenstein	39	0	–	–	1	3	1	3,42
Всего / Total	1 815 582	60 645	63 091	72 421	64 383	55 209	63 150	3,48

Заключение

В заключение можно отметить, что по прошествии четверти XXI в. основные параметры обстановки с пожарами можно оценить следующими цифрами: общее число происходящих в мире пожаров можно ценить в 6–7 млн в год (имеются в виду пожары, регистрируемые противопожарными служ-

бами); общее число погибших при этих пожарах людей в 70–75 тыс. чел. в год; общее число травмированных при пожарах людей в 250–300 тыс. чел. в год.

Банк данных мировой пожарной статистики постоянно пополняется, поэтому со временем и эти оценки могут быть скорректированы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аренс М., Брушлинский Н.Н., Вагнер П., Соколов С.В. Обстановка с пожарами в мире в начале XXI века // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2015. Т. 24. № 10. С. 51–58. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.51-58

2. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Григорьева М.П. Анализ основных пожарных рисков в мире и в России // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. № 2. Т. 26. С. 72–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80

3. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Иванова О.В. Сколько человек погибает при пожарах в мире? // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2019. № 4. Т. 28. С. 51–62. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.51-62

4. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Григорьева М.П. Сравнительный анализ обстановки с пожарами в странах мира // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2022. № 4. С. 5–12. DOI: 10.25257/FE.2022.4.5-12

5. Manes M., Sauca A., El Houssami M. et al. Closing Data Gaps and Paving the Way for Pan-European Fire Safety Efforts. Part I — Terminology of Fire Statistical Variables // Fire Technology. 2023. DOI: 10.1007/s10694-023-01408-5

6. Manes M., Sauca A., El Houssami M. et al. Closing Data Gaps and Paving the Way for Pan-European Fire Safety Efforts. Part II — Terminology of Fire Statistical Variables // Fire Technology. 2023. DOI: 10.1007/s10694-023-01408-5

7. Shalby Hall. Fire loss in the United States during 2022. Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2023. 12 p.

8. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году : стат. сб. / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М. : ВНИИПО, 2021. 125 с.

9. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году : стат. сб. / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М. : ВНИИПО, 2022. 123 с.

10. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году : стат. сб. / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М. : ВНИИПО, 2023. 125 с.

REFERENCES

1. Ahrens M., Bruslinskiy N.N., Wagner P., Sokolov S.V. Situation with the fires on the earth at the beginning of the XXI century. *Pozharovzryvbezopasnost' / Fire and Explosion Safety*. 2015; 24(10):51-58. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.51-58 (rus).
2. Bruslinskiy N.N., Sokolov S.V., Grigorieva M.P. Analysis of the main fire risks in the world and in Russia. *Pozharovzryvbezopasnost' / Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(2):72-80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80 (rus).
3. Bruslinskiy N.N., Sokolov S.V., Ivanova O.V. How many fire deaths in the world? *Pozharovzryvbezopasnost' / Fire and Explosion Safety*. 2019; 28(4):51-62. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.51-62 (rus).
4. Bruslinskiy N.N., Sokolov S.V., Grigorieva M.P. Comparative Analysis of the Situation with Fires in the Countries of the World. *Fires and Emergencies: prevention, elimination*. 2022; 4:5-12. DOI: 10.25257/FE.2022.4.5-12 (rus).
5. Manes M., Sauca A., El Houssami M. et al. Closing Data Gaps and Paving the Way for Pan-European Fire Safety Efforts. Part I — Terminology of Fire Statistical Variables. *Fire Technology*. 2023. DOI: 10.1007/s10694-023-01408-5
6. Manes M., Sauca A., El Houssami M. et al. Closing Data Gaps and Paving the Way for Pan-European Fire Safety Efforts. Part II — Terminology of Fire Statistical Variables. *Fire Technology*. 2023. DOI: 10.1007/s10694-023-01408-5
7. Shalby Hall. *Fire loss in the United States during 2022*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2023; 12.
8. *Fires and fire safety in 2020 : Statistical yearbook* / gen. ed. D.M. Gordienko. Moscow, VNIPO Publ., 2021; 125. (rus).
9. *Fires and fire safety in 2021 : Statistical yearbook* / gen. ed. D.M. Gordienko. Moscow, VNIPO Publ., 2022; 123. (rus).
10. *Fires and fire safety in 2022 : Statistical yearbook* / gen. ed. D.M. Gordienko. Moscow, VNIPO Publ., 2023; 125. (rus).

Поступила 23.07.2024, после доработки 04.10.2024;

принята к публикации 17.10.2024

Received July 23, 2024; Received in revised form October 4, 2024;

Accepted October 17, 2024

Информация об авторах

СОКОЛОВ Сергей Викторович, д.т.н., профессор, академик РАЕН, профессор Учебно-научного комплекса систем обеспечения пожарной безопасности, 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; ORCID: 0000-0002-2992-8510; e-mail: albrus-ssv@yandex.ru

ВАГНЕР Петер, к.т.н., член Центра пожарной статистики, Международная ассоциация пожарно-спасательных служб (КТИФ), Словения, 1000, г. Любляна, Трзаска, 221; ORCID: 0000-0002-9485-8766; e-mail: drpeterwagner@freenet.de

Вклад авторов:

Соколов С.В. — основная идея статьи; сбор статистических данных; обработка и анализ данных; написание статьи; научное редактирование текста; оформление статьи.

Вагнер П. — сбор статистических данных; обработка и анализ данных.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Sergey V. SOKOLOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of Scientific and Educational Department, The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Boris Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2992-8510; e-mail: albrus-ssv@yandex.ru

Peter WAGNER, Cand. Sci. (Eng.), member of Center of Fire Statistics, International Association of Fire and Rescue Services (CTIF), Trzaska, 221, Ljubljana, 1000, Slovenia; ORCID: 0000-0002-9485-8766; e-mail: drpeterwagner@freenet.de

Contribution of the authors:

Sokolov S.V. — main idea of article; gathering statistical data; data processing and analysis; writing an article; scientific editing; article design.

Wagner P. — gathering statistical data; data processing and analysis.

The authors declare no conflicts of interests.

ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2024. Т. 33. № 6. С. 85–96
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2024; 33(6):85-96

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.849

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2024.33.06.85-96>

Анализ ложных срабатываний систем пожарной сигнализации на объектах массового пребывания людей в период с 2021 по 2023 год

Элина Фанисовна Рахматуллина ✉, Арсений Владимирович Пермьяков,
Ильдар Фанилевич Хафизов, Фаниль Шамилевич Хафизов

Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ), г. Уфа, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Ложные срабатывания систем автоматической пожарной сигнализации могут вызвать серьезные проблемы, такие как прекращение работы объекта, выброс огнетушащих веществ и излишнее использование ресурсов пожарных служб. Особенно важно учитывать, что задержка прибытия пожарных подразделений из-за ложных сигналов может усугубить ситуацию. Цель проведения анализа заключается в выявлении причин ложных срабатываний пожарной сигнализации и разработке рекомендаций по повышению ее эффективности.

Объектом изучения являются срабатывания аварийно-пожарной сигнализации (АПС) на объектах массового скопления людей.

Материалы и методы. В исследовании использованы эмпирические методы и методы системного анализа. Проведен регрессионный анализ с применением метода наименьших квадратов для различных видов регрессионных уравнений.

Результаты обсуждения. Обнаружено, что ложные срабатывания чаще происходят на объектах с большой площадью, где установлено большое количество извещателей и источников ложных срабатываний. Исследования показали, что объекты с повышенной активностью людей подвержены большему риску ложных срабатываний. Для снижения вероятности ложных срабатываний на крупных объектах рекомендуется устанавливать извещатели в местах с наименьшей вероятностью ложных срабатываний.

Заключение. В результате регрессионного анализа получены уравнения, описывающие зависимость между площадью объектов массового пребывания людей и количеством ложных срабатываний пожарной сигнализации. На основе результатов анализа разработаны рекомендации по снижению количества ложных срабатываний.

Ключевые слова: автоматическая пожарная сигнализация; пожар; автоматические установки пожаротушения; анализ данных; метод наименьших квадратов

Для цитирования: Рахматуллина Э.Ф., Пермьяков А.В., Хафизов И.Ф., Хафизов Ф.Ш. Анализ ложных срабатываний систем пожарной сигнализации на объектах массового пребывания людей в период с 2021 по 2023 год // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2024. Т. 33. № 6. С. 85–96. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.85-96

✉ Рахматуллина Элина Фанисовна, e-mail: rahmatullina_elina@mail.ru

Analysis of false alarms of fire alarm systems at public facilities in the period from 2021 to 2023

Elina F. Rakhmatullina ✉, Arseniy V. Permyakov, Ildar Sh. Khafizov, Fanil Sh. Khafizov

Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. False alarms from automatic fire alarm systems can cause serious problems such as shutting down the operation of a facility, the release of fire extinguishing agents and the unnecessary use of fire service resources. It is particularly important to recognize that delaying the arrival of fire units due to false alarms can exacerbate the situation. The purpose of the analysis is to identify the causes of false alarms and to develop recommendations to improve its effectiveness.

The object of the study is the triggering of fire alarm systems (FAS) at the objects of mass gathering of people.

Materials and methods. Empirical methods and methods of system analysis were used in the study. Regression analysis using the method of least squares for different types of regression equations was carried out.

Discussion Results. False alarms were found to occur more frequently in facilities with large areas where a large number of detectors and sources of false alarms are installed. Studies have shown that facilities with increased human activity are at greater risk of false alarms. To reduce the probability of false alarms in large facilities, it is recommended that detectors be installed in locations with the lowest probability of false alarms.

Conclusion. As a result of regression analysis, the equations describing the relationship between the area of objects of mass stay of people and the number of false alarms of fire alarm systems were obtained. On the basis of the results of the analysis recommendations for reducing the number of false alarms are developed.

Keywords: automatic fire alarm system; fire; automatic fire extinguishing installations; data analysis; least squares method

For citation: Rakhmatullina E.F., Permyakov A.V., Khafizov I.Sh., Khafizov F.Sh. Analysis of false alarms of fire alarm systems at public facilities in the period from 2021 to 2023. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(6):85-96. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.06.85-96 (rus).

✉ Rakhmatullina Elina Fanisovna, e-mail: rahmatullina_elina@mail.ru

Введение

Последствия ложных срабатываний аварийно-пожарной сигнализации (АПС) могут быть как незначительными, так и достаточно серьезными [1], а именно:

- приостановка функционирования охраняемого объекта из-за эвакуации работающего персонала и, как следствие, финансовые и временные потери;
- автоматическое срабатывание системы пожаротушения приводит к распылению огнетушащих веществ на имущество, что влечет за собой порчу собственности и дополнительные затраты на очистку помещения;
- ложный вызов сил и средств пожарных подразделений и, как следствие, потеря их трудовых и временных ресурсов;
- отсутствие пожарных подразделений в месте их дислокации (пожарное депо) при возникновении реального происшествия (пожар, авария и т.д.) в момент вызова подразделений на ложное срабатывание и, как следствие, возможное увеличение времени прибытия на место возникновения происшествия [2].

Объект исследования

Объект исследования — срабатывания АПС на объектах массового пребывания людей.

Цель и задачи исследования

Цели анализа: выявить причины срабатываний АПС на объектах массового пребывания в период с 2021 по 2023 г. и разработать рекомендации по повышению эффективности работы пожарной сигнализации.

В соответствии с указанной целью **задачами** исследования являются:

- провести анализ исходных данных;

- определить основные причины срабатываний АПС на объектах массового пребывания в период с 2021 по 2023 г. [3];
- выявить специфические особенности противопожарной защиты на различных объектах;
- разработать рекомендации по повышению эффективности работы пожарной сигнализации.

Материалы и методы исследования

В исследовании использовались методы системного анализа, эмпирический метод, регрессионный анализ, построение уравнения регрессии.

В ходе работы были изучены отчеты о срабатываниях АПС на объектах массового пребывания в период с 2021 по 2023 г., был проведен анализ статистических данных о срабатываниях АПС.

Результаты исследования

В ходе проведенного анализа срабатываний АПС и системы пожарной сигнализации (СПС) на объектах массового пребывания в период с 2021 по 2023 г. были изучены данные каждого объекта, определены причины срабатываний в зависимости от сезона [4]. Также был проведен общий анализ причин срабатываний на всех объектах за весь исследуемый период. Получены следующие результаты:

1. В период с 2021 по 2023 г. на объектах массового пребывания произошло 119 срабатываний АПС, системы передачи извещений о пожаре (СПИ).

2. Основные причины срабатывания АПС и СПИ на исследуемых объектах: запыленность дымовых пожарных извещателей (ДПИ) (попадание строительной пыли), умышленное срабатывание ручных пожарных извещателей (РПИ), неисправность АПС, СПИ, приготовление пищи на плите, проверка работоспособности СПИ обслуживающей организацией и иные причины [5]. Количество, частота срабатываний и причины представлены в табл. 1.

Таблица 1. Количество и частота срабатываний АПС, СПИ за 2021–2023 гг. по разным причинам
Table 1. Number and frequency of FAS actuations, FNS for 2021–2023 for various reasons

Причины срабатываний Causes of alarms	Количество срабатываний Quantity of alarms	Частота срабатываний Response rate	Структура, % Structure, %
Запыленность ДПИ (попадание строительной пыли) Dustiness of the SA (ingress of construction dust)	6	0,050	5,00
Умышленное срабатывание РПИ Deliberate triggering of the MFA	5	0,042	4,20
Неисправность АПС, СПИ FAS, FNS failure	41	0,345	34,50
Приготовление пищи на плите Cooking on the cooker	30	0,252	25,20
Проверка работоспособности СПИ обслуживающей организацией Verification of the FNS operability by the maintenance organization	5	0,042	4,20
Иные причины Another	32	0,269	26,90
Итого за 2021–2023 гг. Total for 2021–2023	119	1,000	100,00

Анализ причин срабатываний АПС, СПИ по всем исследуемым объектам за 2021–2023 гг., представленный на рис. 1, показал, что наибольшее количество срабатываний произошло по следующим основным причинам:

- неисправность АПС, СПИ — 41 срабатывание;
- приготовление пищи на плите — 30 срабатываний;
- иные причины — 32 срабатывания.

Частота срабатываний АПС, СПИ по причине «Неисправность АПС, СПИ» составила 34,5 %,

по причине «Приготовление пищи на плите» — 25,2 %, а по иным причинам — 26,9 % (рис. 2).

3. Наибольшее количество срабатываний произошло в зимний период, а именно 37 раз (рис. 3), частота которых составила 0,311. Основной причиной срабатываний в зимний период явилась неисправность АПС, СПИ [6].

4. В весенний период основной причиной срабатывания АПС, СПИ явилось «Приготовление пищи на плите» — 12 случаев или 40 %. Результаты анализа срабатывания АПС, СПИ по причине «Приготов-

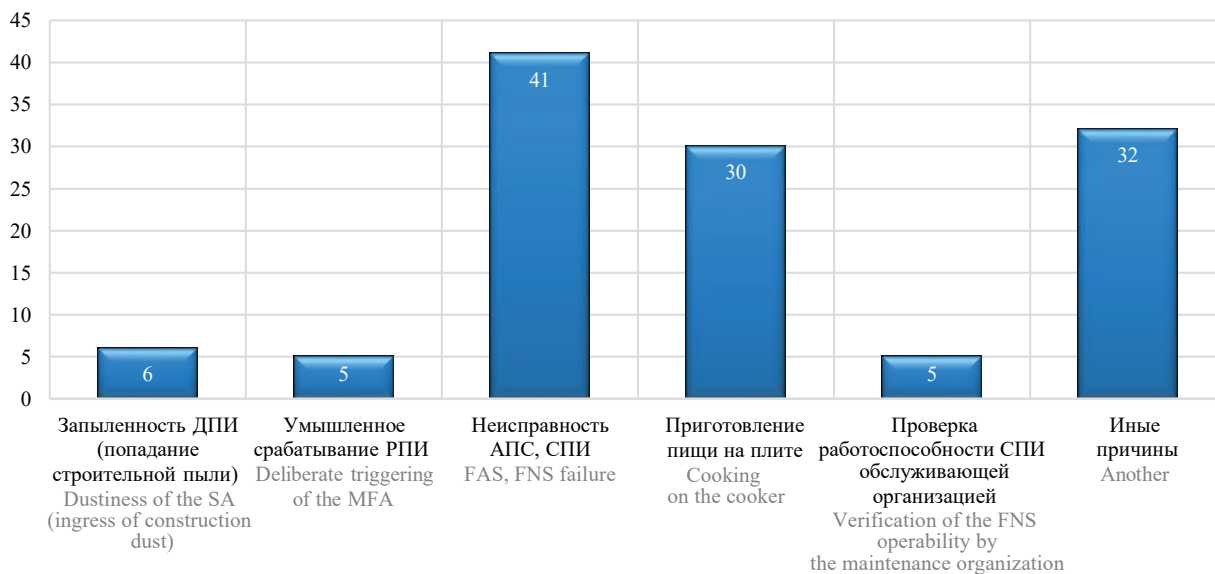


Рис. 1. Количество срабатываний АПС, СПИ за 2021–2023 гг. в разрезе причин
Fig. 1. Number of FAS actuations, FNS for 2021–2023 by cause

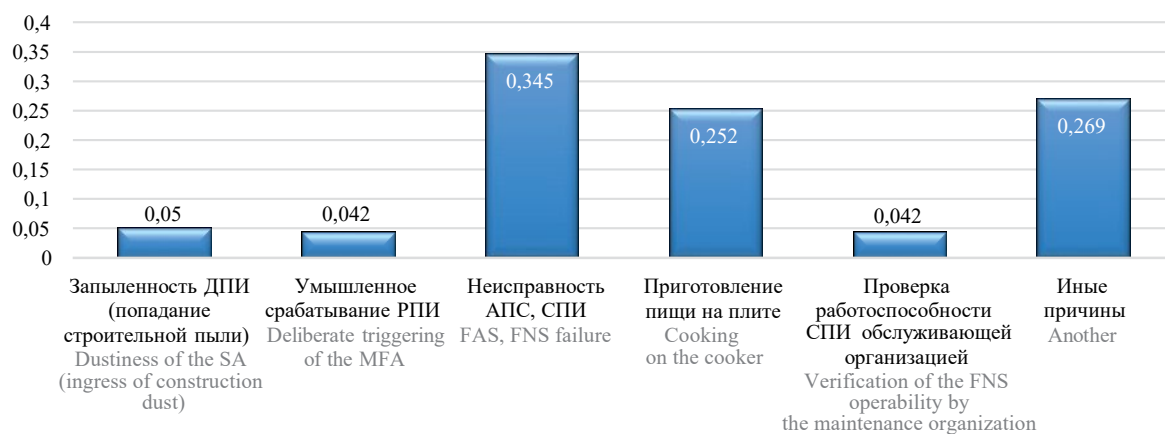


Рис. 2. Частота срабатываний АПС, СПИ за 2021–2023 гг., %

Fig. 2. FAS actuation frequency, FNS for 2021–2023, %

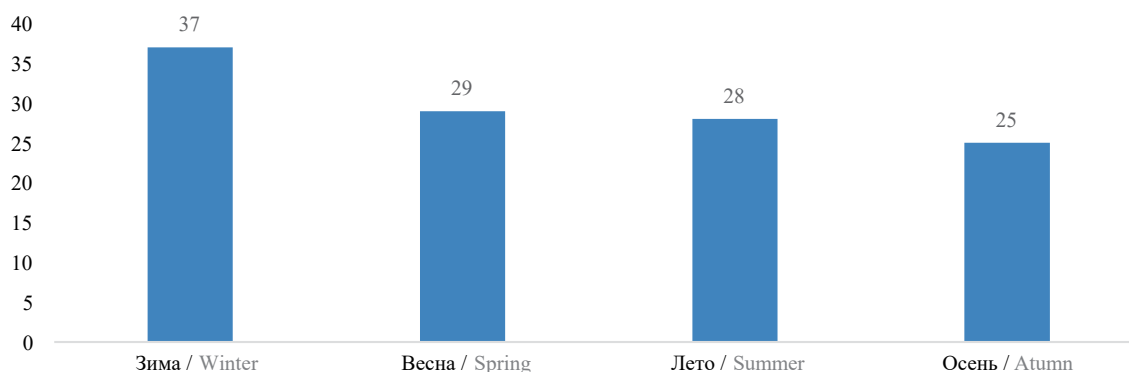


Рис. 3. Количество срабатывания АПС, СПИ за 2021–2023 гг. по сезонам

Fig. 3. Number of FAS actuations, FNS for 2021–2023 by seasons

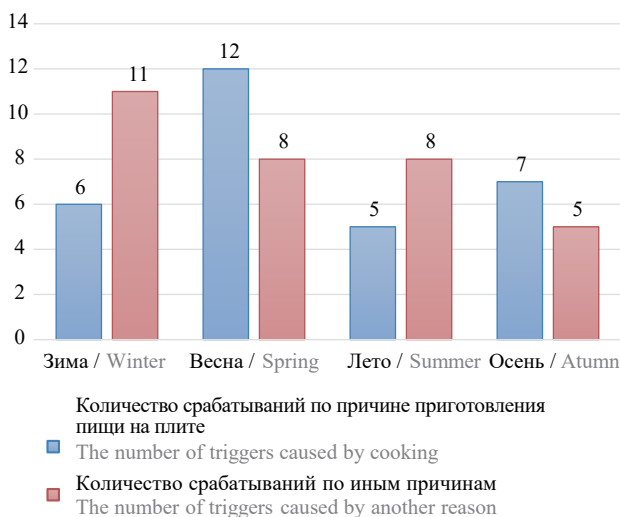


Рис. 4. Количество срабатываний по сезонам в разрезе причин

Fig. 4. The number of triggers during the season by another reason

ление пищи на плите» за 2021–2023 гг. по сезонам представим на рис. 4.

5. По иным причинам (пар, курение, детская шалость) АСП и СПИ срабатывали больше зимой (рис. 4).

Более подробное рассмотрение срабатываний АПС, СПИ по иным причинам за 2021–2023 гг. по сезонам представим в табл. 2 [7].

6. Наибольшее количество срабатывания — 34,15 % АПС, СПИ по объектам с учетом систем передачи извещений о пожаре по причине «Неисправность АПС, СПИ» приходится на зимний период (табл. 3).

Анализ проведения исследования на тему причин ложных срабатываний

Существует зависимость между ложными срабатываниями пожарной сигнализации и площадью объекта [8]. Чем больше площадь объекта, тем выше вероятность ложного срабатывания.

Это связано с несколькими факторами:

1. Количество извещателей: большие объекты, как правило, имеют больше извещателей пожарной сигнализации, что увеличивает вероятность, что один из них работает ложно [9].

2. Количество источников ложных срабатываний: большие объекты часто имеют больше потенциальных источников ложных срабатываний, таких как кухни, ванные комнаты и механические помещения [10].

3. Сложность системы: системы пожарной сигнализации для больших объектов, как правило, более сложные, с большим количеством компонентов и соединений [11]. Это повышает вероятность сбоев, которые могут привести к ложным срабатываниям [12].

Таблица 2. Количество срабатываний АПС, СПИ за 2021–2023 гг. по иным причинам
Table 2. Number of FAS actuations, FNS for 2021–2023 for Another reasons

Сезон Season	Причины срабатываний Reasons for actuations	Количество срабатываний Quantity
Зима Winter	Пар / Steam	2
	В результате нагрева изоляции электропроводов без горения в электрощитовой Heating of electrical insulation	1
	Курение / Smoking	2
	Аварийно-токовое явление без последующего горения / Emergency situation	1
	Распыление аэрозоли / Spraying aerosols	1
	Изменение давления воды в пожарных кранах / Changes in water pressure in firetap	1
	Прорыв трубы ХВС / CWS Pipe burst	1
	Высокая концентрация выхлопных газов от автомобилей / Concentration of exhaust gases from cars	1
	Разгерметизация пожарного крана / Depressurization of the fire crane	1
Весна Spring	Детская шалость / Childish prank	1
	Короткое замыкание без горения / Electrical short	1
	Ремонтные работы / Repair work	2
	В результате проведения реконструкции бутика As a result of the renovation of the boutique	1
	Курение электронной сигареты / Smoking an electronic cigarette	1
	Случайный запуск системы оповещения / Pressing the button	1
	Нагрев лучами солнца / Heating by sunlight	1
Лето Summer	При выгрузке товара / Unloading of goods	1
	Строительные работы / Construction works	2
	Перегрев кондиционера / Heating the air conditioner	1
	В результате тления жировых отложений в вентиляционном коробе, задымления в системе вентиляции без горения / As a result of smouldering fatty deposits in the ventilation duct, smoke in the ventilation system without combustion	1
	Ремонтные работы / Repair	1
	Ложное срабатывание АПС и системы АПТ, выброс огнетушащего порошка на погрузочной подстанции в электрощитовых False activation of FAS and AFS systems, fire extinguishing powder release at the loading substation in electrical switchboards	1
	Другая / Another	1
Осень Autumn	Приготовление пищи / Cooking	2
	Попадания пыли на извещатель / Dustiness	1
	Строительные работы / Buildingwork	1
	Короткое замыкание электропроводки электрочайника, без горения Electric kettle wiring short-circuit, no combustion	1
Итого / Total		32

Таблица 3. Количество срабатывания АПС, СПИ по объектам с учетом систем передачи извещений о пожаре по причине «Неисправность АПС, СПИ» за 2021–2023 гг.

Table 3. Number of FAS and FNS activations by facilities, taking into account the systems of fire notification transmission due to “Failure of FAS and FNS” for 2021–2023

Сезон Season	Наименование объекта Name of the object	Количество ложных срабатываний Quantity of incorrect positive identifications	Итого Total
Зима Winter	ТРЦ 1 / SEC 1	5	14
	ТРЦ 2 / SEC 2	2	
	ТРЦ 3 / SEC 3	6	
	ТРЦ 4 / SEC 4	1	
Весна Spring	ТРЦ 1 / SEC 1	1	6
	ТРЦ 2 / SEC 2	1	
	ТРЦ 3 / SEC 3	3	
	ТРЦ 4 / SEC 4	1	
Лето Summer	ТРЦ 1 / SEC 1	5	10
	ТРЦ 2 / SEC 2	2	
	ТРЦ 3 / SEC 3	–	
	ТРЦ 4 / SEC 4	3	
Осень Autumn	ТРЦ 1 / SEC 1	3	11
	ТРЦ 2 / SEC 2	4	
	ТРЦ 3 / SEC 3	3	
	ТРЦ 4 / SEC 4	1	
Итого / Total		41	41

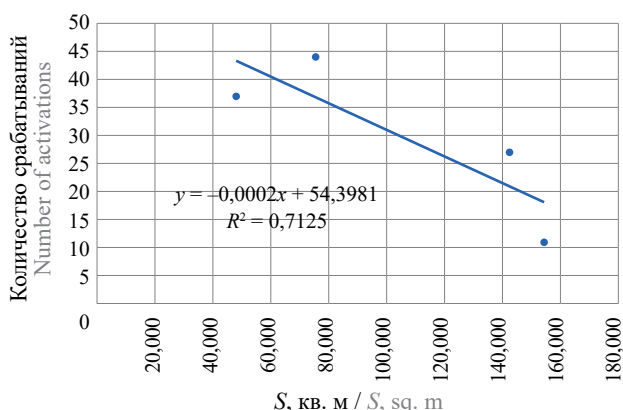


Рис. 5. Зависимость количества срабатываний АПС, СПИ от площади ТРЦ за период 2021–2023 гг.

Fig. 5. Dependence of the number of FAS, FNS actuations on the area of the SEC for the period 2021–2023

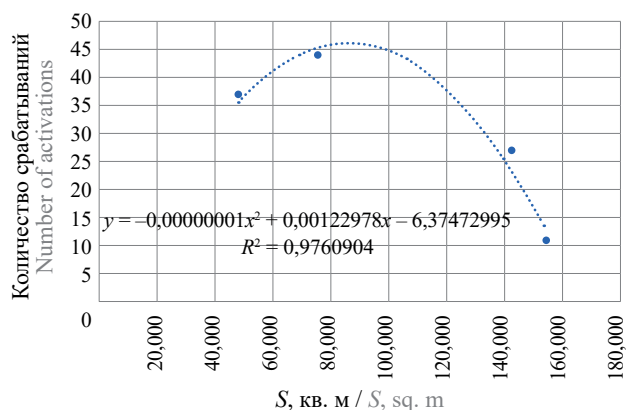


Рис. 6. Зависимость количества срабатываний АПС, СПИ от площади ТРЦ за период 2021–2023 гг.

Fig. 6. Dependence of the number of FAS, FNS actuations on the area of the shopping mall for the period 2021–2023

Кроме того, исследования показали, что определенные типы объектов более склонны к ложным срабатываниям пожарной сигнализации, чем другие [13]. Например, торгово-развлекательные комплексы, учреждения здравоохранения и образовательные учреждения, как правило, имеют более высокие показатели ложных срабатываний из-за наличия большого количества людей и видов деятельности.

Для снижения количества ложных срабатываний на больших объектах важно:

1. Устанавливать датчики в местах с меньшей вероятностью ложных срабатываний [14].
2. Регулярно обслуживать и тестировать систему пожарной сигнализации.
3. Обучать персонал правильно реагировать на срабатывания сигнализации¹.
4. Принимать меры по снижению источников ложных срабатываний, таких как использование вытяжек при приготовлении пищи и устранение источников пыли [15].

В рамках исследования проведен регрессионный анализ по количеству срабатываний АПС, СПИ и площади объектов массового пребывания, результаты в виде диаграмм и схем представлены ниже (табл. 4–6, рис. 5, 6).

Проведен регрессионный анализ для различных видов регрессионных уравнений с помощью метода наименьших квадратов [16]. Выведены уравнения зависимости площади объектов массового пребывания людей и количества ложных срабатываний пожарной сигнализации.

На основании причин и количества срабатываний выведены уравнения общего числа ложных сра-

¹ Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа. Рекомендации. М. : ВНИИПО, 2023. 96 с. URL: https://www.technos-m.ru/upload/files/sredsna_pozharnoi_avtomatiki.pdf

Таблица 4. Количество срабатывания АПС, СПИ по объектам с учетом площади объектов массового пребывания за 2021–2023 гг.
Table 4. Number of FAS and FNS activations by facilities, taking into account the area of mass stay facilities for 2021–2023

Параметры объекта Object Parameters		Наименование объекта / Name of the object				
		ТРЦ 1 SEC 1	ТРЦ 2 SEC 2	ТРЦ 3 SEC 3	ТРЦ 4 SEC 4	Итого Total
S , кв. м / S , sq. m	X	48 000	75 000	141 800	154 000	418 800
n (количество срабатываний) n (number of activations)	Y	37	44	27	11	119

Таблица 5. Данные о значениях дисперсии, среднеквадратичном отклонении и средней ошибки аппроксимации для линейной регрессии
Table 5. Data on the values of variance, standard deviation and average approximation error

X	Y	$Y(X)$	$(Y_{cp} - Y(X))^2$ $(Y_{av} - Y(X))^2$	Дисперсия Dispersion	Стандартное отклонение Standard deviation
48 000	37	44,798	226,442	92,788	9,633
75 000	44	39,398	93,084		
141 800	27	26,038	13,779		
154 000	11	23,598	37,847		
Итого / Total	119	–	371,152		
Y_{cp} / Y_{av}	29,75	–	–		

Средняя ошибка аппроксимации
Average approximation error

X	Y	$Y(X)$	$ Y_i - Y(X) : Y_i$	Средняя ошибка аппроксимации Average approximation error
48 000	37	44,798	0,210756757	0,374062506
75 000	44	39,398	0,104590909	
141 800	27	26,038	0,03562963	
154 000	11	23,598	1,145272727	
Итого / Total			1,496250023	

Таблица 6. Данные о значениях дисперсии, среднеквадратичном отклонении и средней ошибки аппроксимации для квадратичной регрессии
Table 6. Data on the values of variance, standard deviation and average approximation error

X	Y	$Y(X)$	$(Y_{cp} - Y(X))^2$ $(Y_{av} - Y(X))^2$	Дисперсия Dispersion	Стандартное отклонение Standard deviation
48 000	37	29,614	0,018	2746,164	52,404
75 000	44	29,608	0,020		
141 800	27	–33,064	3945,640		
154 000	11	–54,148	7038,977		
Итого / Total	119	–	10 984,655		
Y_{cp} / Y_{av}	29,75	–	–		

Средняя ошибка аппроксимации
Average approximation error

X	Y	$Y(X)$	$ Y_i - Y(X) : Y_i$	Средняя ошибка аппроксимации Average approximation error
48 000	37	29,614	0,199	2,168470352
75 000	44	29,608	0,327	
141 800	27	–33,064	2,224	
154 000	11	–54,148	5,922	
Итого / Total			8,673	

Таблица 7. Количество ложных срабатываний с удельными весами, характеризующими их причины
Table 7. The number of false positives with specific weights characterizing their causes

Причины срабатываний АПС, СПИ ТРЦ 1 (Y1) Causes of FAS, FNS actuations SEC 1 (Y1)	X	Количество Quantity	Процент по причинам срабатывания Percentage by cause of activation
Запыленность ДПИ (попадание строительной пыли) Dustiness of the SA (ingress of construction dust)	X1	4	9,09
Неисправность АПС, СПИ FAS, FNS failure	X2	14	31,82
Приготовление пищи на плите Cooking on the cooker	X3	12	27,27
Проверка работоспособности СПИ обслуживающей организацией Verification of the FNS operability by the maintenance organization	X4	1	2,27
Умышленное срабатывание РПИ Deliberate triggering of the MFA	X5	1	2,27
Иные причины Another	X6	12	27,27
Итого Total	—	44	100,00
$Y1 = 0,0909 \cdot X1 + 0,3182 \cdot X2 + 0,2727 \cdot X3 + 0,0227 \cdot X4 + 0,0227 \cdot X5 + 0,2727 \cdot X6$			—
Причины срабатываний АПС, СПИ ТРЦ 1 (Y1) Causes of FAS, FNS actuations SEC 1 (Y1)	X	Количество Quantity	Процент по причинам срабатывания Percentage by cause of activation
Запыленность ДПИ (попадание строительной пыли) Dustiness of the SA (ingress of construction dust)	X1	2	7,41
Неисправность АПС, СПИ FAS, FNS failure	X2	10	37,04
Приготовление пищи на плите Cooking on the cooker	X3	4	14,81
Проверка работоспособности СПИ обслуживающей организацией Verification of the FNS operability by the maintenance organization	X4	0	0,00
Умышленное срабатывание РПИ Deliberate triggering of the MFA	X5	0	0,00
Иные причины Another	X6	11	40,74
Итого Total	—	27	100,00
$Y2 = 0,0741 \cdot X1 + 0,3704 \cdot X2 + 0,1481 \cdot X3 + 0,4074 \cdot X6$			—

Окончание табл. 7 / End of the Table 7

Причины срабатываний АПС, СПИ ТРЦ 1 (Y1) Causes of FAS, FNS actuations SEC 1 (Y1)	X	Количество Quantity	Процент по причинам срабатывания Percentage by cause of activation
Запыленность ДПИ (попадание строительной пыли) Dustiness of the SA (ingress of construction dust)	X1	0	0,00
Неисправность АПС, СПИ FAS, FNS failure	X2	11	29,73
Приготовление пищи на плите Cooking on the cooker	X3	14	37,84
Проверка работоспособности СПИ обслуживающей организацией Verification of the FNS operability by the maintenance organization	X4	2	5,41
Умышленное срабатывание РПИ Deliberate triggering of the MFA	X5	4	10,81
Иные причины / Another	X6	6	16,22
Итого / Total	—	37	100,00
$Y3 = 0,2973 \cdot X2 + 0,3784 \cdot X3 + 0,0541 \cdot X4 + 0,1081 \cdot X5 + 0,1622 \cdot X6$			—
Причины срабатываний АПС, СПИ ТРЦ 1 (Y1) Causes of FAS, FNS actuations SEC 1 (Y1)	X	Количество Quantity	Процент по причинам срабатывания Percentage by cause of activation
Запыленность ДПИ (попадание строительной пыли) Dustiness of the SA (ingress of construction dust)	X1	0	0,00
Неисправность АПС, СПИ FAS, FNS failure	X2	6	54,55
Приготовление пищи на плите Cooking on the cooker	X3	0	0,00
Проверка работоспособности СПИ обслуживающей организацией Verification of the FNS operability by the maintenance organization	X4	2	18,18
Умышленное срабатывание РПИ Deliberate triggering of the MFA	X5	0	0,00
Иные причины / Another	X6	3	27,27
Итого / Total	—	11	100,00
$Y4 = 0,5455 \cdot X2 + 0,1818 \cdot X4 + 0,2727 \cdot X6$			

батований с удельными весами (табл. 7), характеризующими их причины.

Заключение

В ходе проведенного анализа срабатываний АПС и СПИ в период с 2021 по 2023 г. на объектах массового пребывания людей были выявлены следующие причины срабатывания АПС, СПИ:

- запыленность ДПИ (попадание строительной пыли);
- умышленная активация РПИ;
- неисправность АПС, СПИ;
- нарушение технологического процесса;
- нарушения при проверке работоспособности СПИ обслуживающей организацией;
- иные причины.

Основная функция автоматической установки пожарной сигнализации — это обнаружение и передача сигнала о пожаре в самые короткие сроки [17]. Для бесперебойной и надежной работы необходимо обеспечение следующих мероприятий:

1. Установка пожарных извещателей, конструкция которых не допускает попадание пыли, насекомых и других посторонних частиц.

2. Регулярная очистка извещателей от пыли с последующей проверкой работоспособности.

3. Своевременное техническое обслуживание элементов автоматической установки пожарной сигнализации.

4. Монтаж и эксплуатация в соответствии с нормативными документами, в результате чего исключаются

факторы: помехи электромагнитного характера, попадание солнечных лучей и т.д.

5. Выбор типа пожарных извещателей в соответствии с характеристиками и технологическими процессами защищаемого помещения.

6. Контроль за соблюдением правил пожарной безопасности:

- не допускать курения;
- не допускать использование открытых источников огня и дыма;
- проводить инструктажи и беседы о правильном использовании систем противопожарной защиты [2].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сенько Д., Альшевский М. Проблемы оценки эффективности технических средств пожарной сигнализации и автоматики // Алгоритм безопасности. 2007. № 5. С. 50–51. EDN NXVMBJ.
2. Хафизов И.Ф., Краснов А.В., Хафизова Э.Г. Усовершенствование методики, определения частоты возникновения пожара для зданий различного класса функциональной пожарной опасности // Нефтегазовое дело. 2012. № 3. С. 179–182. URL: <https://ngdelo.ru/article/view/1821>
3. Рахматуллина Э.Ф., Пермьяков А.В. Прогнозирование площади загрязнения при авариях на трубопроводах, произошедших в результате коррозии // Междунар. научно-практич. конф., посвященная 75-летию горно-нефтяного факультета УГНТУ и 100-летию ученого Спивака Александра Ивановича : сб. мат. (23–24 ноября 2023 года) / под общ. ред. Ф.Н. Янгиров. Уфа : УНПЦ «Издательство УГНТУ», 2023. 339 с.
4. Шаровар Ф.И. Пожаропредупредительная автоматика: теория и практика предотвращения пожаров от маломощных загораний : монография. М. : Специнформатика-СИ, 2013. 556 с.
5. Klimczak T., Paś J., Duer S., Rosiński A., Wetoszka P., Bialek K. et al. Selected Issues Associated with the Operational and Power Supply Reliability of Fire Alarm Systems // Energies. 2022. No. 15 (22). P. 8409. DOI: 10.3390/en15228409
6. Zhang X., Qian K., Jing K., Yang J., Yu H. Fire detection based on convolutional neural networks with channel attention // Chinese Automation Congress, China. 2020. DOI: 10.1109/CAC51589.2020.9327309
7. Paś J., Klimczak T., Rosiński A., Stawowy M. The analysis of the operational process of a complex fire alarm systems used in transport facilities // Building Simulation. 2021. No. 15. Pp. 615–629. DOI: 10.1007/s12273-021-0790-y
8. Фёдоров А.В., Членов А.Н., Лукьянченко А.А., Буцынская Т.А., Демёхин Ф.В. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара : монография. М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. 155 с.
9. Членов А.Н., Фомин В.И., Буцынская Т.А., Демёхин Ф.В. Новые методы и технические средства обнаружения пожара. М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. 175 с.
10. Yu-Chun Wen, Fa-Xin Yu, Xiao-Lin Zhou, Zhe-Ming Lu. A vector quantization based automatic fire detection system // Information Technology Journal. 2010. Vol. 9. Issue 4. Pp. 758–765. DOI: 10.3923/itj.2010.758.765
11. Turgay Celik, Hasan Demirel. Fire detection in video sequences using a generic color model // Fire Safety Journal. 2009. Vol. 44. Issue 2. Pp. 147–158. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.05.005
12. Zhang L., Wang G. Design and Implementation of Automatic Fire Alarm System based on Wireless Sensor Works // Proceedings of the International Symposium on Information Processing (ISIP'09). Huangshan, 2009. Pp. 410–413.
13. Rishika Yadav, Poonam Rani. Sensor based smart fire detection and fire alarm system // System Proceedings of the International Conference on Advances in Chemical Engineering (AdChE). 2020. DOI: 10.2139/ssrn.3724291
14. Jaime Lloret, Miguel Garcia, Diana Bri, Sandra Sendra. A Wireless Sensor Network Deployment for Rural and Forest Fire Detection and Verification // Sensors. 2009. No. 9 (11). Pp. 8722–47. DOI: 10.3390/s91108722
15. Членов А.Н., Фомин В.И., Буцынская Т.А., Демёхин Ф.В. Новые методы и технические средства обнаружения пожара. М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. 175 с.
16. Членов А.Н., Буцынская Т.А., Дровникова И.Г., Фомин В.И. и др. Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации. М. : Пожкнига, 2008. 253 с.

17. Хафизов И.Ф., Шевченко Д.И., Кудрявцев А.А., Мелюсёва И.А., Озден И.В. Современные тренажерные системы для оперативного персонала в нефтегазовой области // Нефтегазовое дело. 2022. № 3. С. 46–61. DOI: 10.17122/ogbus-2022-3-46-61

REFERENCES

1. Senko D., Alshevsky M. Problems of evaluating the effectiveness of technical means of fire alarm and automation. *Safety algorithm*. 2007; 5:50-51. EDN NXVMBJ. (rus).
2. Hafizov I.F., Krasnov A.V., Hafizova E.G. Improvement of the methodology for determining the frequency of fire occurrence for buildings of various classes of functional fire hazard. *Oil and Gas business*. 2012; 179-182. URL: <https://ngdelo.ru/article/view/1821> (rus).
3. Rakhmatullina E.F., Permyakov A.V. Forecasting the area of contamination in pipeline accidents caused by corrosion. *International Scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the Mining and Petroleum Faculty of USNTU and the 100th anniversary of scientist Alexander Ivanovich Spivak : collection of materials (November 23–24, 2023) / F.N. Yangirov*. Ufa, UNPC “Publishing House of USPTU”, 2023; 339. (rus).
4. Sharovar F.I. *Fire prevention automation: theory and practice of fire prevention from low-power fires : monograph*. Moscow, Specifomatika-SI, 2013; 556. (rus).
5. Klimczak T., Paś J., Duer S., Rosiński A., Wetoszka P., Bialek K. et al. Selected Issues Associated with the Operational and Power Supply Reliability of Fire Alarm Systems. *Energies*. 2022; 15(22):8409. DOI: 10.3390/en15228409
6. Zhang X., Qian K., Jing K., Yang J., Yu H. Fire Detection based on Convolutional Neural Networks with Channel Attention. *Chinese Automation Congress*. China, 2020. DOI: 10.1109/CAC51589.2020.9327309
7. Paś J., Klimczak T., Rosiński A., Stawowy M. The analysis of the operational process of a complex fire alarm systems used in transport facilities. *Building Simulation*. 2021; 15:615-629. DOI: 10.1007/s12273-021-0790-y
8. Fedorov A.V., Chlenov A.N., Lukyanchenko A.A., Butsynskaya T.A., Demekhin F.V. *Systems and technical means of early fire detection : monograph*. Moscow, Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2009; 155. (rus).
9. Chlenov A.N., Fomin V.I., Butsynskaya T.A., Demekhin F.V. *New methods and technical means of fire detection*. Moscow, Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2007; 175. (rus).
10. Yu-Chun Wen, Fa-Xin Yu, Xiao-Lin Zhou, Zhe-Ming Lu. A vector quantization based automatic fire detection system. *Information Technology Journal*. 2010; 9(4):758-765. DOI: 10.3923/ijt.2010.758.765
11. Turgay Celik, Hasan Demirel. Fire detection in video sequences using a generic color model. *Fire Safety Journal*. 2009; 44(2):147-158. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.05.005
12. Zhang L., Wang G. Design and Implementation of Automatic Fire Alarm System based on Wireless Sensor Works. *Proceedings of the International Symposium on Information Processing (ISIP'09)*. Huangshan, 2009; 410-413.
13. Rishika Yadav, Poonam Rani. Sensor based smart fire detection and fire alarm system. *System Proceedings of the International Conference on Advances in Chemical Engineering (AdChE)*. 2020. DOI: 10.2139/ssrn.3724291
14. Jaime Lloret, Miguel Garcia, Diana Bri, Sandra Sendra. A Wireless Sensor Network Deployment for Rural and Forest Fire Detection and Verification. *Sensors*. 2009; 9(11):8722-47. DOI: 10.3390/s91108722
15. Chlenov A.N., Fomin V.I., Butsynskaya T.A., Demekhin F.V. *New methods and technical means of fire detection*. Moscow, Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2007; 175. (rus).
16. Chlenov A.N., Butsynskaya T.A., Drovnikova I.G., Fomin V.I. et al. *Technical means of security and fire alarm systems*. Moscow, Pozhkniga, 2008; 253. (rus).
17. Hafizov I.F., Shevchenko D.I., Kudryavtsev A.A., Melyuseva I.A., Ozden I.V. Modern training systems for operational personnel in the oil and gas industry. *Oil and Gas business*. 2022; 3:46-61. DOI: 10.17122/ogbus-2022-3-46-61 (rus).

Поступила 14.11.2024, после доработки 04.12.2024;

принята к публикации 13.12.2024

Received November 14, 2024; Received in revised form December 4, 2024;

Accepted December 13, 2024

Информация об авторах

РАХМАТУЛЛИНА Элина Фанисовна, старший преподаватель кафедры математики, Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ), Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; ORCID: 0009-0007-6980-2027; e-mail: rahmatullina_elina@mail.ru

Information about the authors

Elina F. RAKHMATULLINA, Senior Lecturer of Information Technology and Applied Mathematics, Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Kosmonavtov st., 1, Ufa, 450064, Russian Federation; ORCID: 0009-0007-6980-2027; e-mail: rahmatullina_elina@mail.ru

ПЕРМЯКОВ Арсений Владимирович, к.т.н., доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ), Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; ORCID: 0009-0002-9332-2414; e-mail: senya2512@yandex.ru

ХАФИЗОВ Ильдар Фанилевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ), Академия наук Республики Башкортостан, Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; ORCID: 0000-0002-2638-9937; e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

ХАФИЗОВ Фаниль Шамилевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ), Академия наук Республики Башкортостан, Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; ORCID: 0000-0001-6316-9725; e-mail: fanil150656@mail.ru

Вклад авторов:

Рахматуллина Э.Ф. — подбор и поиск материала для научной статьи; работа над написанием статьи.

Пермяков А.В. — обработка данных и усовершенствование методов обработки результатов.

Хафизов И.Ф. — научное редактирование текста статьи.

Хафизов Ф.Ш. — научное редактирование текста статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Arseniy V. PERMYAKOV, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor of Fire and Industrial Safety Department, Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Kosmonavtov st., 1, Ufa, 450064, Russian Federation; ORCID: 0009-0002-9332-2414; e-mail: senya2512@yandex.ru

Ildar F. KHAFIZOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Kosmonavtov st., 1, Ufa, 450064, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2638-9937; e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Fanil Sh. KHAFIZOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Fire and Industrial Safety Department, Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Kosmonavtov st., 1, Ufa, 450064, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-6316-9725; e-mail: fanil150656@mail.ru

Contribution of the authors:

Rakhmatullina E.F. — selection and search for material for a scientific article; worked on writing the article.

Permyakov A.V. — data processing and improvement of methods for processing results.

Khafizov I.F. — scientific editing of the article text.

Khafizov F.Sh. — scientific editing of the article text.

The authors declare no conflict of interest.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЗА 2024 г.

А

Абашкин А.А., см. Пехотиков А.В.

Абашкин А.А., см. Хасанов И.Р.

Авдеев В.В., см. Кузнецова Д.А.

Акперов Р.Г., см. Пузач С.В.

Б

Балабанов И.Д., см. Танклевский Л.Т.

Барановский А.С. Принципиальные проблемы применения расчета пожарного риска. Необходимость и возможности его оптимизации, № 2, 5

Барановский Н.В., Галаутдинова С.А., Малинин А.О. Математическое моделирование воздействия фронта лесного пожара на ограждающие конструкции деревянного здания в сельском населенном пункте, № 3, 22

Бегишев И.Р., см. Халиков Р.В.

Беззапонная О.В., Макаркин С.В., Глухих П.А. Идентификация термопластичных полимеров методом синхронного термического анализа, № 1, 24

Бойцов А.Б., см. Крымский В.В.

В

Вагнер П., см. Соколов С.В.

Вилисов В.Я., Хабибуллин Р.Ш. Кластеризация пожаров на объектах топливно-энергетического комплекса по ретроспективным статистическим данным для выявления рангов пожаров, № 1, 83

Г

Галаутдинова С.А., см. Барановский Н.В.

Гвоздев Е.В. Обоснование по выбору экспертного метода для проведения оценки состояния системы комплексной безопасности на производственных предприятиях, № 3, 87

Глухих П.А., см. Беззапонная О.В.

Голованов В.И., Пехотиков А.В., Приступюк Д.Н., Крючков Г.И. Огнестойкость строительных конструкций из стального проката с повышенными показателями термостойкости, № 3, 47

Головенко В.Р., см. Крымский В.В.

Гомозов А.В., см. Пехотиков А.В.

Гомозов А.В., см. Пузач С.В.

Горев В.А., Рукавишников М.М. Одномерная гидравлическая модель горения в преградах, № 5, 5

Горев В.А., Челекова Е.Ю., Корольченко А.Д. Влияние заглубления легкосбрасываемых конструкций на формирование взрывной нагрузки, № 2, 15

Гравит М.В., Мамедов Э.З. Моделирование огнестойкости конструкций этажерок нефтегазоносных сетей месторождений при кустовом расположении скважин, № 4, 36

Громов Н.В., см. Комаров А.А.

Д

Дашкевич Е.И., см. Крымский В.В.

Димитрюк В.В., см. Ермаков С.А.

Е

Евсиков А.А., Самарин И.В. Обнаружение и определение точного местоположения очага возгорания с использованием сверточной нейронной сети, панорамного изображения и 3D-модели объекта наблюдения, № 4, 13

Еремينا Т.Ю., Уткин С.В. Исследование изменений свойств огнезащитных покрытий интумесцентного типа методом термомеханического анализа, № 2, 32

Ермаков С.А., Димитрюк В.В., Жданов С.М., Фадеев А.А. Вопрос о перспективах развития интеллектуальных пожарных извещателей, № 2, 68

Ж

Жданов С.М., см. Ермаков С.А.

З

Зубань А.В., см. Константинова Н.И.

Зуев С.А., см. Хасанов И.Р.

К

Калмыков С.П., см. Пузач С.В.

Кашинова Н.А., см. Корольченко Д.А.

Ковалева С.А., см. Корольченко О.Н.

Комаров А.А. Особенности расчета параметров газодинамических потоков при аварийных взрывах, № 1, 15

Комаров А.А., Громов Н.В., Корольченко А.Д., Ланской П.С. Общие принципы защиты объектов от беспилотных летательных аппаратов, № 5, 51

Константинова Н.И., см. Пузач С.В.

Константинова Н.И., Зубань А.В., Поединцев Е.А., Кривошапкина О.В. Пожарная опасность декоративных текстильных изделий в помещениях общественных зданий и сооружений, № 6, 14

Коптев М.Ю., см. Полетаев Н.Л.

Королева Л.А., Хайдаров А.Г. Система мониторинга и прогнозирования пожароопасных состояний мест размещения и накопления твердых коммунальных отходов при их захоронении и транспортировке, № 4, 52

Корольченко А.Д., см. Горев В.А.

Корольченко А.Д., см. Комаров А.А.

Корольченко А.Д., см. Сугак Е.Б.

Корольченко А.Д., см. Халиков Р.В.

Корольченко Д.А., см. Рассказов Е.С.

Корольченко Д.А., Портнов Ф.А. Влияние параметров сечения чугунных тубингов обделки тоннелей метро на их огнестойкость, № 5, 72

Корольченко Д.А., Терех Н.А., Простакишин Д.А. Анализ корректности требований и методик для испытаний полиспастов, применяемых в системах индивидуальной защиты от падения с высоты в строительной отрасли, № 3, 67

Корольченко Д.А., Цариченко С.Г., Простакишин Д.А., Кашинова Н.А. Влияние светопогоды на текстильные средства индивидуальной защиты от падения с высоты в строительной отрасли, № 1, 60

Корольченко О.Н., Поляков Д.В., Ковалева С.А. Определение огнетушащей способности автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения, № 5, 61

Кривошапкина О.В., см. Константинова Н.И.

Крымский В.В., Бойцов А.Б., Дашкевич Е.И., Юрченко Р.А., Головенко В.Р. Перспективы развития дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде, № 4, 69

Крымский В.В., Головенко В.Р. Организация управления пожарными подразделениями с использованием современного пожарно-спасательного оборудования при тушении пожаров воздушных судов, № 2, 77

Крючков А.В., см. Самарин И.В.

Крючков Г.И., см. Голованов В.И.

Кузнецова Д.А., Яшин Н.В., Авдеев В.В. Многофакторная количественная оптимизация огнезащитной эффективности интумесцентных огнезащитных материалов, № 3, 11

Л

Ланской П.С., см. Комаров А.А.

Лучкин С.А., см. Пехотиков А.В.

Лучкин С.А., см. Пузач С.В.

М

Макаркин С.В., см. Беззапонная О.В.

Маликов Ю.К., Титаев А.А., Серебренников В.О. Аппроксимационная формула для расчета огнестойкости незащищенных стальных конструкций, № 3, 57

Малинин А.О., см. Барановский Н.В.

Мамедов Э.З., см. Гравит М.В.

Масаев С.Н., Шнайдер В.А. Расчет оптимального пути эвакуации из национального парка «Красноярские столбы» при лесном пожаре, № 6, 26

Матвеев А.В., см. Медведев Д.В.

Медведев Д.В., Матвеев А.В., Смирнов А.С. Применение модели логистической регрессии при принятии решений по определению количества привлекаемых сил на ликвидацию лесных пожаров, № 4, 84

Н

Нагановский Ю.К., см. Румянцева А.А.

О

Овчинников А.О., см. Пузач С.В.

П

Пермяков А.В., см. Рахматулина Э.Ф.

Пехотиков А.В., см. Голованов В.И.

Пехотиков А.В., Абашкин А.А., Гомозов А.В., Лучкин С.А. Апробация и анализ нормативных требований по защите лестничных клеток с открытыми проемами при распространении пожара по фасаду, № 1, 5

Поединцев Е.А., см. Константинова Н.И.

Пожаркова И.Н. Исследование температурного режима пожара в подземной исследовательской лаборатории на основе численного моделирования, № 4, 22

Полетаев Н.Л. Взрывоопасность локального изменения хода времени, № 6, 5

Полетаев Н.Л. Максимальный размер взрывоопасных частиц аэрозвеси железа, № 3, 5

Полетаев Н.Л., Сазонов М.С., Коптев М.Ю. Исследование взрывоопасности аэрозвеси свинца, № 4, 5

Полетаев Н.Л., Сазонов М.С., Коптев М.Ю. Особенности взрыва антрацита в 20-л камере, № 2, 23

Поляков Д.В., см. Корольченко О.Н.

Портнов Ф.А., см. Корольченко Д.А.

Приступок Д.Н., см. Голованов В.И.

Простакишин Д.А., см. Корольченко Д.А.

Пузач С.В., Калмыков С.П. Численное моделирование задымления помещений при пожаре с учетом различных типов пожарной нагрузки, № 2, 42

Пузач С.В., Константинова Н.И., Акперов Р.Г., Овчинников А.О. Исследование параметров токсичности продуктов горения мягких элементов мебели, № 1, 51

Пузач С.В., Лучкин С.А., Гомозов А.В. Анализ теплового воздействия на окна лестничной клетки пожара, возникшего на балконе жилого здания, № 5, 16

Р

Рассказов Е.С., Корольченко Д.А. Применение легко-сбрасываемых сэндвич-панелей для защиты производственных зданий в условиях арктического климата, № 5, 26

Рахматуллина Э.Ф., Пермяков А.В., Хафизов И.Ф., Хафизов Ф.Ш. Анализ ложных срабатываний систем пожарной сигнализации на объектах массового пребывания людей в период с 2021 по 2023 год, № 6, 85

Роев В.В., см. Халиков Р.В.

Рукавишников М.М., см. Горев В.А.

Румянцева А.А., Федотов И.О., Сивенков А.Б., Нагановский Ю.К. Влияние длительного естественного старения бумаги на ее свойства и термическую устойчивость, № 1, 36

С

Сазонов М.С., см. Полетаев Н.Л.

Самарин И.В., см. Евсиков А.А.

Самарин И.В., Строгонов А.Ю., Крючков А.В. Модель прогнозирования класса готовности датчиков термохимического газосигнализатора для предотвращения пожаров и взрывов, № 5, 87

Серебренников В.О., см. Маликов Ю.К.

Сивенков А.Б., см. Румянцева А.А.

Смирнов А.С., см. Медведев Д.В.

Соколов С.В., Вагнер П. Оценка обстановки с пожарами в мире, № 6, 67

Строгонов А.Ю., см. Самарин И.В.

Сугак Е.Б., Корольченко А.Д. О проблемах функционирования современной системы управления охраной труда, № 1, 73

Т

Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Балабанов И.Д. Моделирование процесса эксплуатации систем противопожарной защиты с использованием марковских цепей, № 2, 59

Таранцев А.А., см. Танклевский Л.Т.

Терех Н.А., см. Корольченко Д.А.

Титаев А.А., см. Маликов Ю.К.

У

Уткин С.В., см. Еремина Т.Ю.

Ф

Фадеев А.А., см. Ермаков С.А.

Федотов И.О., см. Румянцева А.А.

Х

Хабибуллин Р.Ш., см. Вилисов В.Я.

Хайдаров А.Г., см. Королева Л.А.

Халикова Т.Н., см. Халиков Р.В.

Халиков Р.В., Роев В.В., Бегишев И.Р., Халикова Т.Н., Корольченко А.Д. Перспективы применения водной среды в метастабильном фазовом состоянии для предотвращения пожаров горючих газов, № 4, 97

Харламенков А.С. Оценка пожарного риска на автостоянках с наличием мест для зарядки электромобилей, № 1, 94

Харламенков А.С. Пожарная опасность накопления пыли в электроустановках. Часть 1, № 4, 108

Хасанов И.Р., Зуев С.А., Абашкин А.А. Моделирование теплового воздействия пожаров в зданиях из деревянных конструкций на соседние объекты, № 6, 48

Хафизов И.Ф., см. Рахматуллина Э.Ф.

Хафизов Ф.Ш., см. Рахматуллина Э.Ф.

Ц

Цариченко С.Г., см. Корольченко Д.А.

Ч

Челекова Е.Ю., см. Горев В.А.

Ш

Шабунин С.А., см. Ширяев Е.В.

Швырков С.А., см. Ширяев Е.В.

Шебеко Ю.Н. Особенности поведения резервуаров с сжиженным водородом в очаге пожара, № 2, 50

Шебеко Ю.Н. Пожарная безопасность заправочной инфраструктуры транспорта на водородном топливе, № 6, 56

Ширяев Е.В., Шабунин С.А., Швырков С.А. Оценка пожарной опасности эластичных резервуаров на основе термогравиметрического анализа, № 3, 37

Шнайдер В.А., см. Масаев С.Н.

Ю

Юрченко Р.А., см. Крымский В.В.

Я

Яшин Н.В., см. Кузнецова Д.А.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2024 г.

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ		
Барановский А.С. Принципиальные проблемы применения расчета пожарного риска. Необходимость и возможности его оптимизации.	2	5–14
Пехотиков А.В., Абашкин А.А., Гомозов А.В., Лучкин С.А. Апробация и анализ нормативных требований по защите лестничных клеток с открытыми проемами при распространении пожара по фасаду.	1	5–14
Полетаев Н.Л. Взрывоопасность локального изменения хода времени.	6	5–13
ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ, ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВА		
Горев В.А., Рукавишников М.М. Одномерная гидравлическая модель горения в преградах.	5	5–15
Горев В.А., Челекова Е.Ю., Корольченко А.Д. Влияние заглубления легкосбрасываемых конструкций на формирование взрывной нагрузки.	2	15–22
Комаров А.А. Особенности расчета параметров газодинамических потоков при аварийных взрывах.	1	15–23
Полетаев Н.Л. Максимальный размер взрывоопасных частиц аэрозвеси железа	3	5–10
Полетаев Н.Л., Сазонов М.С., Коптев М.Ю. Исследование взрывоопасности аэрозвеси свинца.	4	5–12
Полетаев Н.Л., Сазонов М.С., Коптев М.Ю. Особенности взрыва антрацита в 20-л камере.	2	23–31
БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ		
Беззапонная О.В., Макаркин С.В., Глухих П.А. Идентификация термопластичных полимеров методом синхронного термического анализа.	1	24–35
Еремина Т.Ю., Уткин С.В. Исследование изменений свойств огнезащитных покрытий интумесцентного типа методом термомеханического анализа.	2	32–41
Константинова Н.И., Зубань А.В., Поединцев Е.А., Кривошапкина О.В. Пожарная опасность декоративных текстильных изделий в помещениях общественных зданий и сооружений.	6	14–25
Кузнецова Д.А., Яшин Н.В., Авдеев В.В. Многофакторная количественная оптимизация огнезащитной эффективности интумесцентных огнезащитных материалов.	3	11–21
Румянцева А.А., Федотов И.О., Сивенков А.Б., Нагановский Ю.К. Влияние длительного естественного старения бумаги на ее свойства и термическую устойчивость.	1	36–50
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ		
Барановский Н.В., Галаутдинова С.А., Малинин А.О. Математическое моделирование воздействия фронта лесного пожара на ограждающие конструкции деревянного здания в сельском населенном пункте.	3	22–36
Евсиков А.А., Самарин И.В. Обнаружение и определение точного местоположения очага возгорания с использованием сверточной нейронной сети, панорамного изображения и 3D-модели объекта наблюдения.	4	13–21
Масаев С.Н., Шнайдер В.А. Расчет оптимального пути эвакуации из национального парка «Красноярские столбы» при лесном пожаре.	6	26–47

Пожаркова И.Н. Исследование температурного режима пожара в подземной исследовательской лаборатории на основе численного моделирования	4	22–35
Пузач С.В., Калмыков С.П. Численное моделирование задымления помещений при пожаре с учетом различных типов пожарной нагрузки	2	42–49
Хасанов И.Р., Зуев С.А., Абашкин А.А. Моделирование теплового воздействия пожаров в зданиях из деревянных конструкций на соседние объекты	6	48–55

БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

Гравит М.В., Мамедов Э.З. Моделирование огнестойкости конструкций этажерок нефтегазовых сетей месторождений при кустовом расположении скважин	4	36–51
Шебеко Ю.Н. Особенности поведения резервуаров с сжиженным газом в очаге пожара	2	50–58
Ширяев Е.В., Шабунин С.А., Швырков С.А. Оценка пожарной опасности эластичных резервуаров на основе термогравиметрического анализа	3	37–46

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Голованов В.И., Пехотиков А.В., Приступок Д.Н., Крючков Г.И. Огнестойкость строительных конструкций из стального проката с повышенными показателями термостойкости	3	47–56
Комаров А.А., Громов Н.В., Корольченко А.Д., Ланской П.С. Общие принципы защиты объектов от беспилотных летательных аппаратов	5	51–60
Королева Л.А., Хайдаров А.Г. Система мониторинга и прогнозирования пожароопасных состояний мест размещения и накопления твердых коммунальных отходов при их захоронении и транспортировке	4	52–68
Маликов Ю.К., Титаев А.А., Серебренников В.О. Аппроксимационная формула для расчета огнестойкости незащищенных стальных конструкций	3	57–66
Пузач С.В., Константинова Н.И., Акперов Р.Г., Овчинников А.О. Исследование параметров токсичности продуктов горения мягких элементов мебели	1	51–59
Рассказов Е.С., Корольченко Д.А. Применение легкосбрасываемых сэндвич-панелей для защиты производственных зданий в условиях арктического климата	5	26–50
Шебеко Ю.Н. Пожарная безопасность заправочной инфраструктуры транспорта на водородном топливе	6	56–66

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Корольченко Д.А., Терех Н.А., Простакишин Д.А. Анализ корректности требований и методик для испытаний полиспастов, применяемых в системах индивидуальной защиты от падения с высоты в строительной отрасли	3	67–86
Корольченко Д.А., Цариченко С.Г., Простакишин Д.А., Кашинова Н.А. Влияние погоды на текстильные средства индивидуальной защиты от падения с высоты в строительной отрасли	1	60–72
Крымский В.В., Бойцов А.Б., Дашкевич Е.И., Юрченко Р.А., Головенко В.Р. Перспективы развития дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде	4	69–83
Сугак Е.Б., Корольченко А.Д. О проблемах функционирования современной системы управления охраной труда	1	73–82

СТАТИСТИКА И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Вилисов В.Я., Хабибуллин Р.Ш. Кластеризация пожаров на объектах топливно-энергетического комплекса по ретроспективным статистическим данным для выявления рангов пожаров	1	83–93
Медведев Д.В., Матвеев А.В., Смирнов А.С. Применение модели логистической регрессии при принятии решений по определению количества привлекаемых сил на ликвидацию лесных пожаров	4	84–96
Пузач С.В., Лучкин С.А., Гомозов А.В. Анализ теплового воздействия на окна лестничной клетки пожара, возникшего на балконе жилого здания	5	16–25
Рахматуллина Э.Ф., Пермиков А.В., Хафизов И.Ф., Хафизов Ф.Ш. Анализ ложных срабатываний систем пожарной сигнализации на объектах массового пребывания людей в период с 2021 по 2023 год	6	85–96
Соколов С.В., Вагнер П. Оценка обстановки с пожарами в мире	6	67–84

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА

Ермаков С.А., Димитрюк В.В., Жданов С.М., Фадеев А.А. Вопрос о перспективах развития интеллектуальных пожарных извещателей.	2	68–76
Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Балабанов И.Д. Моделирование процесса эксплуатации систем противопожарной защиты с использованием марковских цепей	2	59–67

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЖАРНОЙ И КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Гвоздев Е.В. Обоснование по выбору экспертного метода для проведения оценки состояния системы комплексной безопасности на производственных предприятиях	3	87–96
Корольченко Д.А., Портнов Ф.А. Влияние параметров сечения чугунных тубингов обделки тоннелей метро на их огнестойкость	5	72–86
Самарин И.В., Строгонов А.Ю., Крючков А.В. Модель прогнозирования класса готовности датчиков термохимического газосигнализатора для предотвращения пожаров и взрывов	5	87–98

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Корольченко О.Н., Поляков Д.В., Ковалева С.А. Определение огнетушащей способности автономных термоактивируемых устройств газового пожаротушения.	5	61–71
Крымский В.В., Головенко В.Р. Организация управления пожарными подразделениями с использованием современного пожарно-спасательного оборудования при тушении пожаров воздушных судов.	2	77–90
Халиков Р.В., Робенко В.В., Бегишев И.Р., Халикова Т.Н., Корольченко А.Д. Перспективы применения водной среды в метастабильном фазовом состоянии для предотвращения пожаров горючих газов	4	97–107

ВОПРОС – ОТВЕТ

Харламенков А.С. Оценка пожарного риска на автостоянках с наличием мест для зарядки электромобилей.	1	94–99
Харламенков А.С. Пожарная опасность накопления пыли в электроустановках. Часть 1	4	108–112

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал «ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY» статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т.п. Авторы должны указать, к какому типу относится их статья:

- научно-теоретическая;
- научно-эмпирическая;
- аналитическая (обзорная);
- дискуссионная;
- рекламная.

Не допускается направлять в редакцию работы, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены через электронную редакцию по адресу info@fire-smi.ru.

Статья должна быть ясно и лаконично изложена и подписана всеми авторами (скан страницы с подписями). Основной текст статьи должен содержать в себе четкие, логически взаимосвязанные разделы. Все разделы должны начинаться приведенными ниже заголовками, выделенными полужирным начертанием. Для научной статьи традиционными являются следующие разделы:

- введение;
- материалы и методы (методология) — для научно-эмпирической статьи;
- теоретические основы (теория и расчеты) — для научно-теоретической статьи;
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (аналитической (обзорной), дискуссионной, рекламной) при условии четкого выделения разделов:

- введение;
- основная (аналитическая) часть;
- заключение (выводы).

Подробную информацию о содержании каждого из обозначенных выше разделов см. на сайте издательства www.fire-smi.ru.

Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть точными и лаконичными и в то же время достаточно информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустима транслитерация с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это касается также аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>).

Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, страну, индекс, город, название улицы, номер дома,

а также контактные телефоны и электронные адреса всех авторов; дать информацию о контактном лице. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

2.3.3. ORCID, Researcher ID, Scopus Author ID.

2.4. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторское резюме на английском языке в русскоязычном издании является для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- содержательным (должно отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т.е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать четко обозначенные подразделы Введение (Introduction), Цели и задачи (Aims and Purposes), Методы (Methods), Результаты (Results), Обсуждение (Discussion), Заключение (выводы) (Conclusions).

Результаты работы следует описывать предельно точно и информативно. При этом должны приводиться основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, 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 сверху флажок «Американская (для визы США)»; если автор цитируемой статьи имеет свой вариант транслитерации своей фамилии, следует использовать этот вариант);
- заглавие на английском языке — для статьи, транслитерация и перевод названия — для книги;
- название источника (журнала, сборника статей, материалов конференции и т.п.) в транслитерации и на английском языке (курсивом, через косую черту);
- выходные данные;
- указание на язык изложения материала в скобках (например, (in Russian)).

Например: D.N. Sokolov, L.P. Vogman, V.A. Zuykov. Microbiological spontaneous ignition. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 1, pp. 35-48 (in Russian) (Другие примеры см. www.fire-smi.ru).

3. Статьи, присланные не в полном объеме, на рассмотрение не принимаются.

4. В случае получения замечаний в ходе внутреннего рецензирования статьи авторы должны предоставить доработанный вариант текста в срок не более одного месяца с обязательным выделением цветом внесенных изменений, а также отдельно подготовить конкретные ответы-комментарии на все вопросы и замечания рецензента.

Несвоевременный, а также неадекватный ответ на замечания рецензентов и научных редакторов приводит к задержке публикации до исправления указанных недостатков. При игнорировании замечаний рецензентов и научных редакторов рукопись снимается с дальнейшего рассмотрения.

5. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати. Предпечатная подготовка статей оплачивается за счет средств подписчиков и третьих лиц, заинтересованных в публикации.

Редакция оставляет за собой право считать, что авторы, представившие рукопись для публикации в журнале «Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety», согласны с условиями публикации или отклонения рукописи, а также с правилами ее оформления!