

2-2025

FIRE SAFETY ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



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

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ
ИНГИБИРУЮЩИХ СОСТАВОВ
ДЛЯ ОБЪЕМНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ
ВОДНЫМИ СРЕДАМИ



КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



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 **Табеева А.Р.**
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 28.04.2025.

Выход в свет 05.05.2025.

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, Ньютаунбхи, 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

А.Н. ДЕНИСОВ, А.А. ПОРОШИН, М.М. ДАНИЛОВ,
К.С. ВЛАСОВ, Е.А. МЕШАЛКИН, М.В. ШЕВЦОВ
Генезис развития, современные реалии научно-методического
и нормативного правового обоснования понятий «крупный
пожар», «сложный (затяжной) пожар»

5

A.N. DENISOV, A.A. POROSHIN, M.M. DANILOV, K.S. VLASOV,
E.A. MESHALKIN, M.V. SHEVTSOV
Genesis of development, modern realities of scientific,
methodological and normative legal substantiation
of the concepts of "large fire", "complex (protracted) fire"

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ, ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВА

COMBUSTION, DETONATION AND EXPLOSION PROCESSES

А.А. КОМАРОВ, Н.В. ГРОМОВ, Л.В. РЯДЧЕНКО
Процесс формирования взрывоопасной смеси
в экспериментальной камере

20

A.A. KOMAROV, N.V. GROMOV, L.V. RYADCHENKO
The process of explosive mixture formation
in the experimental chamber

БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

SAFETY OF SUBSTANCES AND MATERIALS

Л.П. ВОГМАН, И.А. БОЛОДЬЯН, Е.Н. ПРОСТОВ
Обеспечение пожарной безопасности
жидкого аммиака при хранении и транспортировке
в промышленных масштабах

32

L.P. VOGMAN, I.A. BOLODIAN, E.N. PROSTOV
Ensuring fire safety of liquid ammonia
during storage and transportation
on an industrial scale

А.Г. СОКОЛОВА, Е.М. ГОТЛИБ, И.Д. ТВЕРДОВ
Влияние вида глины на модифицирующий эффект
синтетического диопсида в керамических материалах

42

A.G. SOKOLOVA, E.M. GOTLIB, I.D. TVERDOV
Influence of clay type on the modifying effect
of synthetic diopside in ceramic materials

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

С.В. ПУЗАЧ, Ю.Ю. ЖУРАВЛЕВ
Оценка времени блокирования путей эвакуации
по объемной счетной концентрации твердых
частиц дыма, образующегося при горении
твердых горючих материалов в помещении

50

S.V. PUZACH, Yu.Yu. ZHURAVLEV
Estimation of the blocking time of evacuation routes
based on the volume counting concentration
of solid smoke particles produced by burning solid
combustible materials in a room

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

Р.В. ХАЛИКОВ, А.Д. КОРОЛЬЧЕНКО
Исследование комплексных ингибирующих
составов для объемного пожаротушения
водными средами

60

R.V. KHALIKOV, A.D. KOROLCHENKO
Investigation of complex inhibiting
compositions for volumetric fire extinguishing
with aqueous media

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

А.С. БАРАНОВСКИЙ, Е.Е. КИРЮХАНЦЕВ, Е.А. МЕШАЛКИН
До основания, а затем... Реформа технического
регулирования и проблемы обеспечения
пожарной безопасности в условиях современного
нормативно-правового поля

69

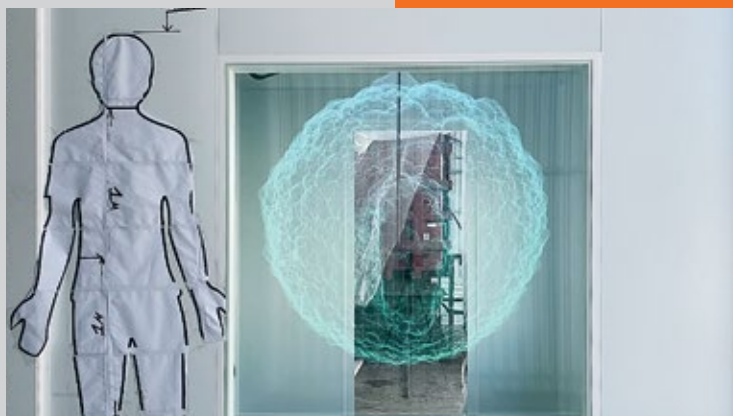
A.S. BARANOVSKY, E.E. KIRYUHANTSEV,
E.A. MESHALKIN
To the core, and then... Technical regulation reform
and fire safety issues in the context of the modern
regulatory framework

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.



Обоснование понятий «крупный» и «сложный (затяжной) пожар»



Процесс формирования взрывоопасной смеси в камере

Стр. 5

Стр. 20



Обеспечение пожарной безопасности жидкого аммиака



Оценка времени блокирования путей эвакуации по концентрации дыма

Стр. 32

Стр. 50

Стр. 69



Пожарная опасность накопления пыли в электроустановках

No. 2 VOL. 34
2025

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 **Tabekova A.R.**

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

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

No part of this publication may be used
or reproduced in any form or by any means
without the prior permission of the Publishers.
Reproducing any part of this material a reference
to the journal is obligatory.
Authors and advertisers account for contents
of given papers and for publishing in the open
press.
Opinion of Editorial Staff not always coincides with
Author's opinion.

Signed for printing 28.04.2025.

Date of publication 05.05.2025.

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

POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST

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)

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025. Т. 34. № 2. С. 5–19

POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025; 34(2):5-19

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.841

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2025.34.02.5-19>

Генезис развития, современные реалии научно-методического и нормативного правового обоснования понятий «крупный пожар», «сложный (затяжной) пожар»

Алексей Николаевич Денисов¹, Александр Алексеевич Порошин²,
Михаил Михайлович Данилов¹✉, Константин Сергеевич Власов²,
Евгений Александрович Мешалкин³, Максим Викторович Шевцов¹

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

² 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

³ ООО «Гефест групп», г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Основными направлениями деятельности по обеспечению пожарной безопасности, как известно, являются профилактика и тушение пожаров. Это положение закреплено в законе «О пожарной безопасности», а также в других нормативных правовых актах и нормативных документах МЧС России, регламентирующих деятельность надзорных органов и служб пожаротушения. Для повышения эффективности деятельности пожарно-спасательных подразделений необходимо определить показатели (количественные и качественные) сложности пожаров и необходимого состава сил и средств для ведения боевых действий.

Цель. Генезис и практико-ориентированное обоснование понятий «крупный пожар», «сложный (затяжной) пожар».

Задачи. Анализ генезиса понятий сложности организации тушения пожаров с точки зрения тактики его тушения; определение показателей (количественных и качественных) сложности пожаров и необходимого состава сил и средств для ведения боевых действий; практико-ориентированное обоснование понятий «крупный пожар», «сложный (затяжной) пожар».

Аналитическая часть. Анализ открытых статистических данных о пожарах в России (за 1998–2021 гг.) с продолжительностью тушения пожаров в зданиях до 7 ч включительно, с учетом изменений, отраженных в порядке государственного статистического учета пожаров и последствий от них в Российской Федерации, дал возможность определить показатели сложности пожаров и необходимого состава сил и средств для их тушения. На основе анализа данных идентифицированы показатели сложности пожаров и необходимого состава сил и средств для ведения боевых действий с учетом: материального ущерба от пожара; безопасности участников тушения пожара и опасности людей; номера (ранга) пожара; площади пожара; времени занятости звеньев ГДЗС на пожаре и их количества; погодных-климатических условий работы на пожаре; объектов ведения боевых действий; наличия радиоактивных, высокотоксичных химических и взрывчатых веществ и т.п.

Результаты и их обсуждение. На основе анализа классификации способов прекращения горения, общей классификации пожаров, приведенной в учебной и методической специальной литературе, статистических данных, описаний крупных и характерных пожаров, произошедших в стране и за рубежом, предлагаются обоснования понятий: способ и прием ведения боевых действий на месте пожара, крупный пожар, сложный (затяжной) пожар.

Заключение. С целью успешного решения текущих задач и реализации концепции повышения пожарной безопасности страны предлагается в тексты нормативных актов и других документов по пожарной безопасности добавить и/или изменить формулировки понятий и определений «крупный пожар», «сложный (затяжной) пожар». Предложены показатели, характеризующие обычный, крупный, сложный (затяжной), большой продолжительности, тактически сложный пожар, и даны определения способа и приема ведения боевых действий на месте пожара. Предложено применять метод Парзена – Розенблатта (ядерной оценки плотности распределения) для оценки плотности случайных величин, характеризующих параметры ведения боевых действий пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров.

Ключевые слова: пожарная безопасность; критерии; крупный пожар; сложный (затяжной) пожар; сложность; действия пожарных; горение; потухание; тепловая теория; нормативно-правовое обустройство; ликвидация пожара; метод

Для цитирования: Денисов А.Н., Порошин А.А., Данилов М.М., Власов К.С., Мешалкин Е.А., Шевцов М.В. Генезис развития, современные реалии научно-методического и нормативного правового обоснования понятий «крупный пожар», «сложный (затяжной) пожар» // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 2. С. 5–19. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.5-19

✉ Данилов Михаил Михайлович, e-mail: mdagps@yandex.ru

Genesis of development, modern realities of scientific, methodological and normative legal substantiation of the concepts of “large fire”, “complex (protracted) fire”

Aleksey N. Denisov¹, Aleksander A. Poroshin², Mikhail M. Danilov¹✉, Konstantin S. Vlasov², Evgeniy A. Meshalkin³, Maksim V. Shevtsov¹

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 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

³ Gefest Group Limited Liability Company, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The main directions of fire safety activities, as it is known, are prevention and extinguishing of fires. This provision is enshrined in the law “Fire Safety”, as well as in other regulatory legal acts and regulatory documents of the Ministry of Emergency Situations of Russia, regulating the activities of supervisory bodies and firefighting services. To improve the effectiveness of fire and rescue units, it is necessary to determine the indicators (quantitative and qualitative) of the complexity of fires and the necessary composition of forces and means for combat operations. **The aim.** The genesis and practice-oriented justification of the concepts of “large fire”, “complex (protracted) fire”. **Objectives.** Analysis of the genesis of the concepts of complexity of firefighting organization from the point of view of firefighting tactics; determination of indicators (quantitative and qualitative) of fire complexity and the necessary composition of forces and means for combat operations; practice-oriented justification of the concepts of “large fire”, “complex (protracted) fire”.

Analytical part. The analysis of open statistical data on fires in Russia (for 1998–2021 years) with the duration of fire suppression in buildings up to seven hours inclusive, taking into account the changes reflected in the order of state statistical accounting of fires and consequences of them in the Russian Federation made it possible to determine the indicators of complexity of fires and the necessary composition of forces and means for their suppression. On the basis of the data analysis we identified the indicators of fire complexity and the necessary composition of forces and means for combat operations, taking into account: material damage from the fire; safety of fire extinguishing participants and danger of people; number (rank) of the fire; fire area; time of occupancy of GRS units at the fire and their number; weather and climatic conditions of work at the fire; objects of combat operations; presence of radioactive, highly toxic chemical and explosive substances, etc.

Results and their discussion. On the basis of the analysis of the classification of ways to stop burning, general classification of fires given in educational and methodical special literature, statistical data, descriptions of large and characteristic fires that occurred in the country and abroad, the justification of the concepts are offered: a way and technique of fighting at the scene of fire, large fire, complex (protracted) fire.

Conclusions. In order to successfully solve the current problems and implement the concept of improving fire safety of the country, it is proposed to add and/or change the wording of the concepts and definitions of large fire, complex (protracted) fire in the texts of regulations and other documents on fire safety. Indicators characterizing an ordinary, large, complex (protracted), long duration, tactically complex fire are proposed and definitions of the method and technique of combat operations at the fire scene are given. It is suggested to apply the Parzen-Rosenblatt method (nuclear estimation of distribution density) to estimate the density of random variables characterizing the parameters of combat operations by fire-rescue units in fire extinguishing.

Keywords: fire safety; criteria; large fire; complex (protracted) fire; complexity; firefighters’ actions; burning; extinguishing; thermal theory; regulatory arrangement; fire liquidation; method

For citation: Denisov A.N., Poroshin A.A., Danilov M.M., Vlasov K.S., Meshalkin E.A., Shevtsov M.V. Genesis of development, modern realities of scientific, methodological and normative legal substantiation of the concepts of “large fire”, “complex (protracted) fire”. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(2):5-19. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.5-19 (rus).

✉ Mikhail Mikhailovich Danilov, e-mail: mdags@yandex.ru

Введение

Основными направлениями деятельности по обеспечению пожарной безопасности, как известно, являются профилактика и тушение пожаров. Это положение закреплено в законе «О пожарной безопасности»¹, а также в других нормативных право-

вых актах и нормативных документах МЧС России, регламентирующих деятельность надзорных органов и служб пожаротушения.

По мнению авторов, необходимо исследовать генезис, развитие и современные реалии научно-методического, нормативно-правового, практико-ориентированного обоснования понятий «крупный пожар» и «сложный (затяжной) пожар», способа и приема ведения боевых действий на месте пожара

¹ О пожарной безопасности (с изм. и доп., вступил в силу с 01.03.2025) : Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ (ред. от 08.08.2024).

с 1953 г. до настоящего времени. Опрос руководителей подразделений, в функции которых входит организация тушения пожаров, и сотрудников (работников) учебных заведений России проводился на основе методов анализа (статистического, кластерного, текстового, содержательного); способов прекращения горения и описаний пожаров (в стране и за рубежом) — иерархического метода; классификации пожаров, приведенной в учебной и методической специальной литературе, статистических данных о пожарах, описаний крупных [1] и характерных пожаров, произошедших в стране, методов анализа — иерархического, Парзена – Розенблатта.

Меры противопожарной защиты в зданиях [2], пожарной безопасности в ряде развивающихся стран [3], Европе [4], причины пожаров [5], математические модели, решающие задачи определения параметров функционирования противопожарной службы [6] и ее готовность [7], делают обоснование понятий «крупный пожар» и «сложный (затяжной) пожар» с точки зрения пожарной тактики актуальным.

Для повышения эффективности деятельности пожарно-спасательных подразделений требуется определить показатели² (количественные и качественные) сложности пожаров и необходимого состава сил и средств для ведения боевых действий по тушению пожара на месте пожара. Пожары классифицируются по ряду признаков.

С точки зрения пожарной тактики требование к классификации пожаров состоит в том, чтобы те или иные группы, классы и разновидности пожаров прежде всего предопределяли способы, приемы и методы прекращения горения, применяемые огнетушащие средства, направление и последовательность действий пожарных подразделений, распределение сил и средств и другое. Для эффективной профилактики пожаров необходима информационная деятельность [8] и выборка из одномерных распределений в соответствии с рангами исходного ансамбля. «Классификация — общенаучное и общеметодологическое понятие, означающее такую форму систематизации знания, когда вся область изучаемых объектов представлена в виде системы классов или групп, по которым эти объекты распределены на основании их сходства в определенных свойствах. Классификация призвана решать две основные задачи: представлять в надежном и удобном для обозрения и распознавания виде всю эту область и заключать в себе максимально полную информацию об ее объектах.

² Абдурагимова Т.И. Количественная оценка качества боевой работы по тушению ординарных пожаров. URL: <https://propb.ru/articles/blog-abduragimova-i-m/kolichestvennaya-otsenka-kachestva-boevoy-raboty-po-tusheniyu-ordinarnykh-pozharov-priuchastii-abdu/> (дата обращения: 23.11.2024).

Разные классификации по-разному справляются с этими задачами» [9]. В данной статье под способом понимается действие или система действий, применяемые для прекращения горения при ведении боевых действий на месте пожара. Под приемом — выполнение операции и/или ее элементов, обеспечивающее прекращение горения при ведении боевых действий на месте пожара. Задачами исследования являются:

- анализ генезиса понятий: изучение исторического развития и эволюции понятий «крупный пожар» и «сложный (затяжной) пожар», включая их изменения и интерпретацию с течением времени в их определениях и критериях оценки;
- научно-методическое обоснование: комплексный анализ теоретических основ и методов, используемых для классификации и анализа крупных и сложных пожаров, включая стадии развития пожаров и факторы, влияющие на их интенсивность;
- нормативно-правовое обоснование понятий: анализ существующих нормативных актов и правовых документов, регулирующих понятия «крупный пожар» и «сложный (затяжной) пожар», включая их определения, критерии классификации и условия по их определению;
- ретроспективный анализ современных реалий и практических аспектов: оценка современных подходов к тушению крупных и сложных пожаров, включая использование современных технологий и оборудования, а также анализ реальных случаев крупных и сложных пожаров;
- разработка предложений: на основе результатов исследования разработаны предложения по нормативному правовому обустройству понятий «крупный пожар», «сложный (затяжной) пожар» с учетом современных реалий и практических потребностей противопожарной службы.

В начале становления пожарной тактики исследователи устанавливали принципиальные основы организованной борьбы с огнем при пожарах, опираясь на современные научно-технические достижения, а также на массовый опыт тушения пожаров, и до середины 1970-х гг. рассматривали только способы борьбы с горением [10]. Согласно тепловой теории, существует одно условие прекращения горения — понижение температуры горения ниже температуры потухания. Оно достигается многими способами прекращения горения [11, 12] и расследования пожаров.

Позже были сформулированы пять основных способов тушения пожаров [13], основанных на:

- удалении окислителя или снижении его процентного содержания в горючей среде (изоляция горящих объемов от окружающей среды, затоп-

ление (заполнение) горящих веществ негорючими веществами);

- прекращении доступа горючих веществ в зону горения (перекрытие задвижек и шиберов, установка: колпаков с системой отводящих трубопроводов, стояков с задвижками и устройства фильтра, устройства гидравлических затворов, разобщение реагирующих веществ);
- удалении горючих веществ, находящихся у зон горения (устройство разрывов);
- разрушении зон горения (взрывчатыми веществами, удаление горящих веществ);
- способе тушения, основанном на снижении температуры горящего вещества (перемешивание масс горящей жидкости).

Способы прекращения горения по принципу, на котором основано условие прекращения горения, были разделены на четыре группы:

- способы охлаждения зоны горения или горящего вещества;
- способы разбавления реагирующих веществ;
- способы изоляции реагирующих веществ от зоны горения;
- способы химического торможения реакции горения [11, 12, 14].

В локализации пожаров большое значение имеет правильный выбор и своевременное осуществление приема или сочетания приемов ограничения распространения горения. По характеру действий и применяемых средств приемы ограничения распространения горения подразделяются на четыре группы [11], представлены в табл. 1.

Целью исследования авторов является генезис, развитие и современные реалии научно-методического, нормативно-правового, практико-ориентированного обоснования понятий «крупный пожар» и «сложный (затяжной) пожар», способа и приема ведения боевых действий на месте пожара. Это предполагает всесторонний анализ исторического контекста, теоретических основ и практических аспектов этих понятий, а также их нормативно-правового обеспечения.

Аналитическая часть

Анализ описаний пожаров показывает, что все виды боевых действий пожарных подразделений различаются между собой по методам их осуществления и тактике ведения. В зависимости от избранного метода ведения боевых действий³ период локализации и ликвидации пожара будет иметь

некоторые отличия. Отличия могут заключаться в системе противопожарной защиты как одной из основных вопросов безопасности зданий [15].

Для выявления сущности способов и приемов тушения пожаров силами и средствами пожарных подразделений исследователи начинают классифицировать пожары по группам, представленным в табл. 2 [15–17].

Классификация пожаров позволяет провести анализ и выявить сходные признаки локализации и ликвидации определенных классов пожаров, а также дает возможность определить способы и приемы их тушения с использованием необходимых видов пожарной и аварийно-спасательной техники по категориям [8].

Законодатель классифицирует пожары⁴: по виду горючего материала (А, В, С, D, Е, F); по сложности тушения; по мерам пожарной безопасности, необходимым для защиты людей и имущества при пожаре.

Но все перечисленные выше классификации не всегда однозначно [18] характеризуют пожар [19], объем⁵, сложность работ [20] по его ликвидации с точки зрения пожарной тактики (управления силами и средствами; организации тушения⁶), по критериям риска [21], так как возможны пожары, когда при наличии нескольких из названных выше условий/критериев [22] процесс тушения пожара не будет представлять тактической значимости/сложности.

До недавнего времени крупные пожары классифицировали [8] по стадиям/этапам его развития [23], материальному ущербу, групповой гибели и травмированию людей, практическому или научному интересу, номеру (рангу) пожара [24, 25].

В настоящее время прорабатывается вопрос нормативного закрепления и определения понятий «крупный пожар» и «сложный пожар». На основе анализа [26] и результатов опроса руководителей подразделений, в функции которых входит организация тушения пожаров, и сотрудников (работников) образовательных организаций был сделан ряд выводов (рис. 1–5). В качестве критериев для характеристики «крупный пожар» стандартно предлагались материальный ущерб, групповая гибель и травмирование людей (в том числе участников тушения пожара), номер (ранг) пожара, статистически учетный. О том, что безопасностью участников тушения пожара не стоит

⁴ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023).

⁵ Codes & Standards. URL: <https://www.scdf.gov.sg/fire-safety-services-listing/cpfprts-2022/codes-and-standards>

⁶ Sanu Shubham, Rai Smriti, Sharma Vishwa. Description of Fire as a Disaster with a Case Study of Delhi's Mundka Fire. 2022. Vol. 11. Pp. 47–66. URL: https://www.researchgate.net/publication/368916117_Description_of_Fire_as_a_Disaster_with_a_Case_Study_of_Delhi's_Mundka_Fire

³ Aamodt Edvard, Meraner Christoph, Brandt Are : review of efficient manual fire extinguishing methods and equipment for the fire service. 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.11604.51846 URL: https://www.researchgate.net/publication/350836504_Review_of_efficient_manual_fire_extinguishing_methods_and_equipment_for_the_fire_service

Таблица 1. Группы характера действий и применяемых средств для ограничения распространения горения
Table 1. Groups by the nature of actions and means used to limit the spread of fire

Способы Methods	Приемы Techniques	
Охлаждение Cooling	Сплошными струями воды Solid streams of water	—
	Распыленными струями воды With sprayed jets of water	—
	Перемешиванием горючих веществ By stirring combustibles	—
Разбавление Dilution	Струями тонкораспыленной воды With jets of finely atomized water	—
	Газоводяными струями от автомобилей газоводяного тушения Gas-water jets from gas-water extinguishing vehicles	—
	Горючих жидкостей водой Flammable liquids with water	—
	Негорючими парами и газами Non-combustible vapours and gases	—
Изоляция Insulation	Слоем продуктов взрыва взрывчатых веществ A layer of explosive blast products	—
	Разрывом в горючем веществе A rupture in the combustible material	Газовыми воздушными потоками Gas air flows
	Огнетушащим порошком Fire extinguishing powder	—
	Огнетушащими полосами Extinguishing strips	Полоса тушения Extinguishing lane
		Защитная зона Protection zone
		Отжиг Annealing
		Земляной вал или стена A rampart or wall
		Бонные ограждения Bonnet barriers
		Твердый экран Hard screen
		Вытеснение газов и жидкостей из аппаратов Displacement of gases and liquids from apparatuses
Химическое торможение реакции Chemical reaction inhibition	Огнетушащим порошком Fire extinguishing powder	—
	Галоидопроизводными углеводородами Halogenated hydrocarbons	—

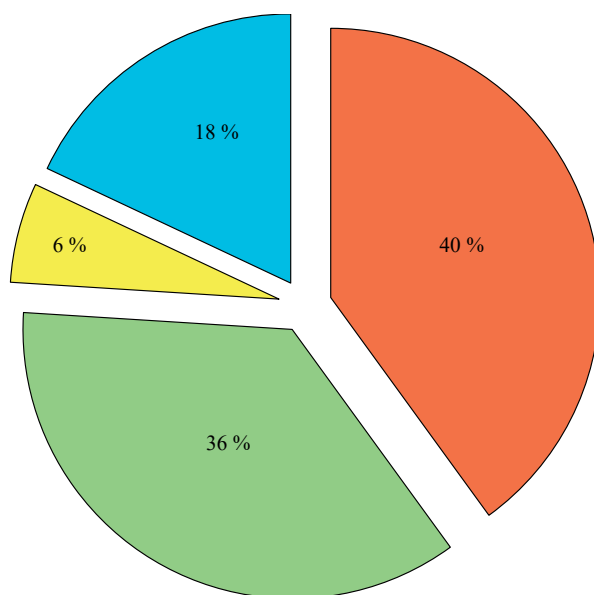
пренебрегать, отметили не более 50 % респондентов. Использовать площадь пожара более 1000 м² в качестве критерия предлагают более 50 % респондентов. Кроме вышеперечисленных критериев предлагались: пожары, боевые действия по тушению которых

вызвали значительный общественный резонанс; создавался нештатный орган управления на пожаре; привлекалось от 7 и более основных пожарных автомобилей; применялось десять или более пожарных стволов на решающем направлении и другое.

Таблица 2. Группы классификации пожаров
Table 2. Fire classification groups

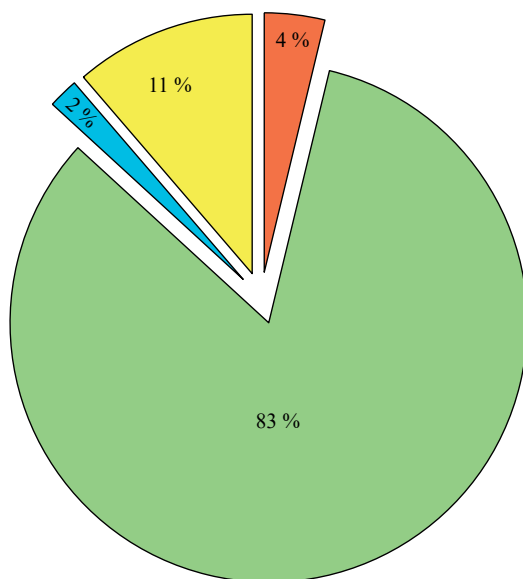
Типология Typology	Описание Description	
Группы пожаров Fire groups	На открытой местности In the open	Отсутствует Absent
	В ограждениях In fences	Открытые: в помещениях высотой до 6 м, в которых оконные проемы расположены на одном уровне и газообмен происходит в пределах высоты этих проемов через общий эквивалентный проем (жилые помещения, школы, больницы, административные и им подобные помещения); в помещениях высотой более 6 м, в которых проемы в ограждениях располагаются на разных уровнях, а расстояния между центрами приточных и вытяжных проемов могут быть весьма значительными Open: in rooms up to 6 m high, in which window openings are located on the same level and gas exchange occurs within the height of these openings through a common equivalent opening (residential premises, schools, hospitals, administrative and similar premises); in rooms with a height of more than 6 m, in which openings in fences are located on different levels, and the distances between the centers of the intake and exhaust openings can be very significant
		Закрытые: при полностью закрытых проемах, когда газообмен осуществляется только вследствие инфильтрации воздуха и удаляющихся из зоны горения газов через неплотности в ограждениях, притворах дверей, оконных рам, при действующих системах естественной вытяжной вентиляции без организованного притока воздуха, а также в отсутствии систем вытяжной вентиляции Closed: when openings are completely closed, when gas exchange is carried out only due to air infiltration and gases escaping from the combustion zone through leaks in fences, doorways, window frames, with operating natural exhaust ventilation systems without an organized air supply, as well as in the absence of exhaust ventilation systems
Классы пожаров Fire classes	Твердых горючих материалов Solid combustibles	Отсутствует Absent
	Легко воспламеняющихся и горючих жидкостей Flammable and combustible liquids	Отсутствует Absent
	Горючих газов Combustible gases	Отсутствует Absent
	Совместного горения материалов различного агрегатного состояния Co-combustion of materials of different aggregate states	Отсутствует Absent
Виды пожаров Types of fires	Распространяющиеся Spreading	Отсутствует Absent
	Не распространяющиеся Non-distributing	Отсутствует Absent
	Массовые Mass	Отсутствует Absent

Типология Typology	Описание Description	
Разновидности пожаров Varieties of fires	Малые; средние; крупные small; medium; large	Отсутствует Absent
	Кратковременные; средней продолжительности; затяжные Short; medium; prolonged; protracted	Отсутствует Absent
	Подземные; наземные; средневысотные; высотные Underground; above-ground; medium-height; high-altitude	Отсутствует Absent
	На гражданских объектах; на промышленных объектах; на сельскохозяйственных объектах; на транспорте; в лесном фонде Civilian facilities; industrial facilities; agricultural facilities; transportation; forestry facilities	Отсутствует Absent
Частная классификация Private Classification	В резервуарах; фонтанах In tanks; fountains	Отсутствует Absent



■ Номер (ранг) пожара повышенный
Fire number (rank) elevated
■ Номер (ранг) пожара от № 2 и выше
Fire number (rank) from No. 2 and above
■ Номер (ранг) пожара от № 3 и выше
Fire number (rank) from No. 3 and above
■ Другое
Other

Рис. 1. Признак сложности пожара по «расписанию выезда», %
Примечание: повышенный номер (ранг) пожара — № 2 и выше
Fig. 1. Sign of fire complexity, according to the “departure schedule”, %
Note: increased number (rank) of fire — No. 2 and higher



■ 3000 МРОТ и более
3,000 minimum wage and more
■ 3420 МРОТ и более
3,420 minimum wage and more
■ 5200 МРОТ и более
5,200 minimum wage and more
■ Другое
Other

Рис. 2. Убыток от пожара, %
Fig. 2. Loss from fire, %

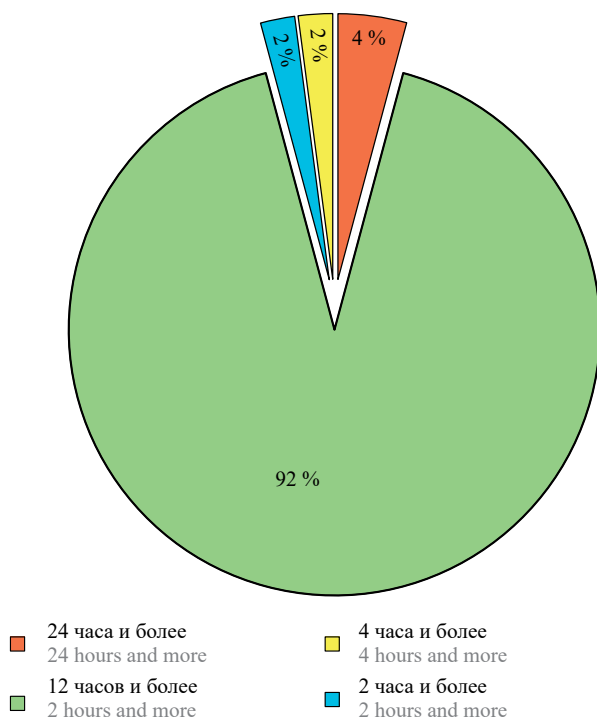


Рис. 3. «Продолжительность» пожара, %
Fig. 3. "Duration" of the fire, %



Рис. 4. Групповая гибель и травмированные люди, %
Fig. 4. Group deaths and injured people, %

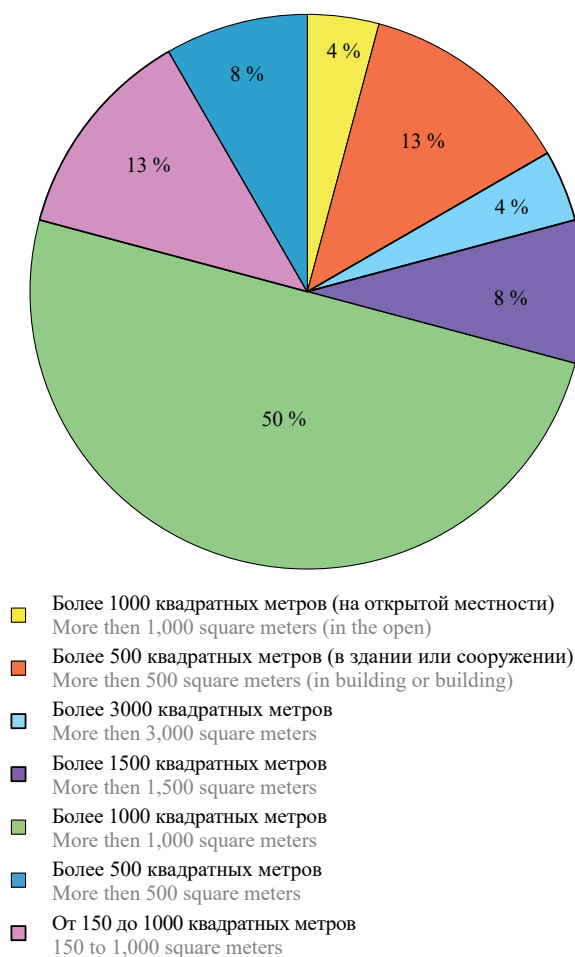


Рис. 5. Площадь пожара, %
Fig. 5. Fire area, %

В качестве критериев для характеристики «сложный пожар», так как такого определения не было, кроме стандартных от «крупный пожар» предлагались: время занятости звеньев ГДЗС на пожаре (три часа и более); организация одновременной работы трех и более звеньев ГДЗС; ветер, скорость которого превышает 15 м в секунду; температура воздуха 10 °C и ниже; температура воздуха +30 °C и выше. Также предлагалось емкое определение — «с риском для жизни и здоровья личного состава пожарно-спасательных подразделений». И, конечно, перечислялись объекты, на которых ведутся боевые действия: тоннели метрополитена, подземные сооружения большой протяженности (площади), специальные подземные и заглубленные фортификационные сооружения; здания высотой (более 9, 15 этажей, выше 50 м); трюмы судов; уникальные, технически сложные, потенциально опасные экспериментальные, промышленные, энергетические, биологические и химические; с наличием радиоактивных, высокотоксичных химических и взрывчатых веществ и т.п.

Результаты и их обсуждение

Анализ открытых статистических данных о пожарах (за 2010–2021 гг.) позволил сделать следующие выводы.

В 2021 г. по абсолютным показателям наибольшее количество пожаров ($\approx 14\%$) было ликвидиро-

вано за первые 10 м с момента начала ведения боевых действий (рис. 6).

Применение метода Парзена – Розенблатта для ядерной оценки плотности распределения (англ. Kernel Density Estimation, KDE) позволяет построить обобщающую незагроможденную кривую, более удобную для интерпретации показателя:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x - x_i) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right),$$

где $K_h(x) = 1/hK(x/h)$ — ядро;

h — сглаживающий параметр.

Метод KDE позволяет получить наиболее устойчивое максимальное значение для пожаров «большой продолжительностью» ≈ 23 мин. Анализ KDE показателя за 2010–2021 гг. (рис. 7) позволил сделать вывод о том, что наибольшая вероятность получения максимального значения пожара «большой продолжительности» принадлежит интервалу $\hat{f}_h = (22; 43)$.

Для показателей количества пожарной техники и пожарных стволов, применяемых на пожарах в здании \hat{f}_h , имеется следующая функциональная зависимость (рис. 8), которая показывает, что в основном все пожары в зданиях ликвидируются за 20–40 мин силами двух пожарных отделений с подачей в очаг пожара одного-двух пожарных

стволов. Такие пожары следует считать ординарными, а крупные пожары, соответственно, представляют противоположность ординарным и должны иметь значения показателей пожара «большой продолжительности», пожарной техники и пожарных стволов, стремящиеся к максимальным зафиксированным за некоторый период наблюдения, предположим, в 5, 10 лет или более.

В настоящее время в практической деятельности пожарных подразделений все чаще случается так, что один из перечисленных выше показателей имеет большое значение, а остальные — нет. Например, при пожаре жилого дома 11 декабря 2023 г. в Москве на ул. Дубининской, 33А, на месте вызова было сосредоточено 56 пожарных отделений, при этом использовался только один пожарный ствол, и общее время занятости составило 29 мин. Большое количество сил было сосредоточено превентивно из-за наличия угрозы людям и возможности распространения горения. Поэтому в сложившихся социально-экономических условиях целесообразно рассматривать все показатели пожара (пожара «большой продолжительности», пожарной техники и пожарных стволов) во взаимосвязи.

Гипотетически показатели количества техники и пожарных стволов должны сильно коррелиро-

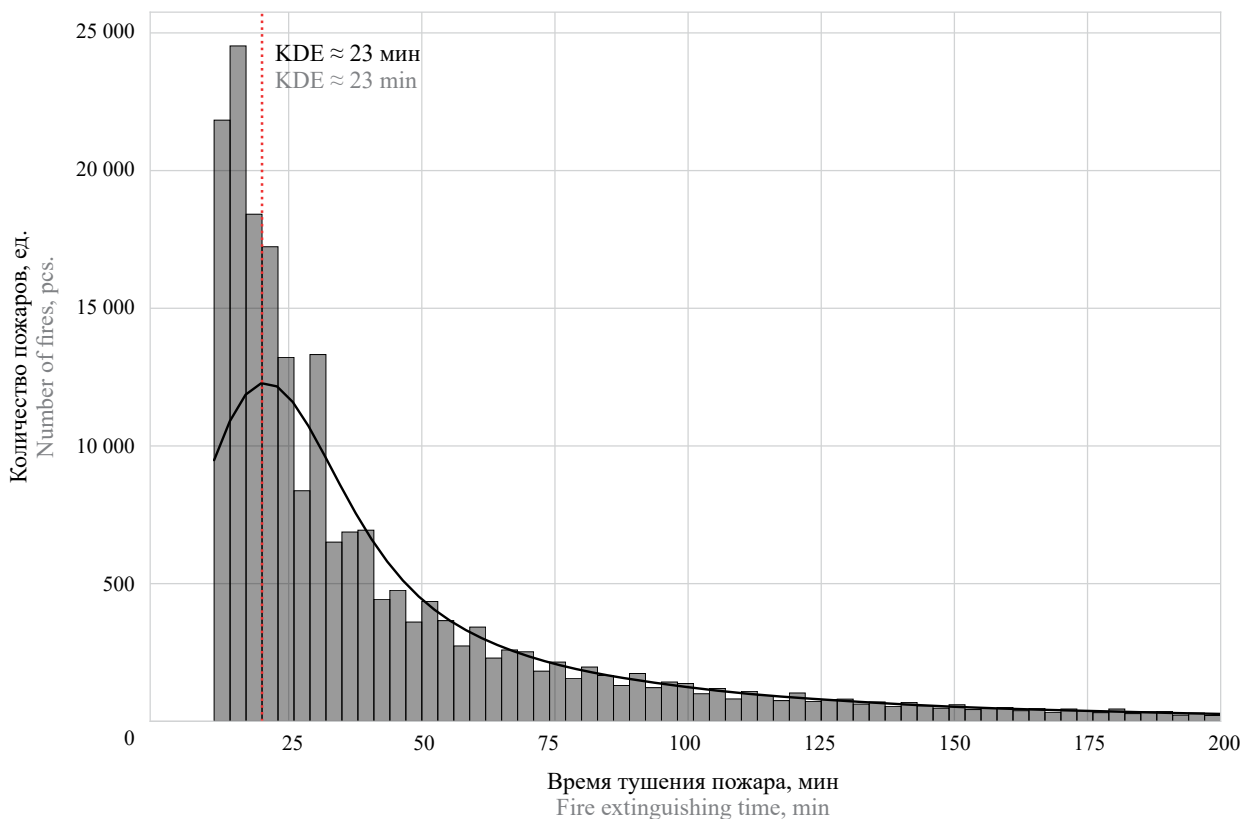


Рис. 6. Распределение по продолжительности тушения пожаров в зданиях (с момента подачи первого ствола на тушение до ликвидации), произошедших в Российской Федерации за 2021 г. Сплошная линия — сглаживание показателя по методу KDE
Fig. 6. Distribution by duration of fire extinguishing in buildings (from the moment of the first trunk supply to extinguishing to liquidation), which occurred in the Russian Federation in 2021. Solid line — smoothing of the indicator using the KDE method

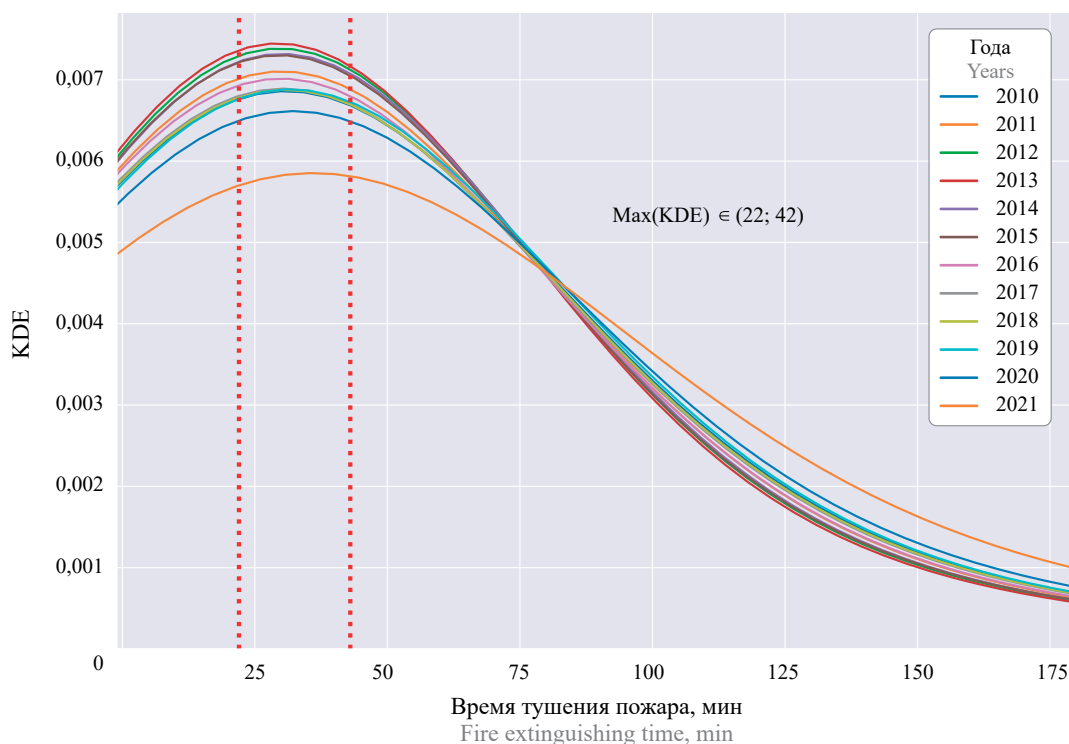


Рис. 7. KDE показателей продолжительности тушения пожаров в зданиях (с момента подачи первого ствола на тушение до ликвидации), произошедших в Российской Федерации за 2010–2021 гг.

Fig. 7. KDE indicators of the duration of extinguishing fires in buildings (from the moment the first barrel is applied to extinguish to liquidation) that occurred in the Russian Federation for 2010–2021 years

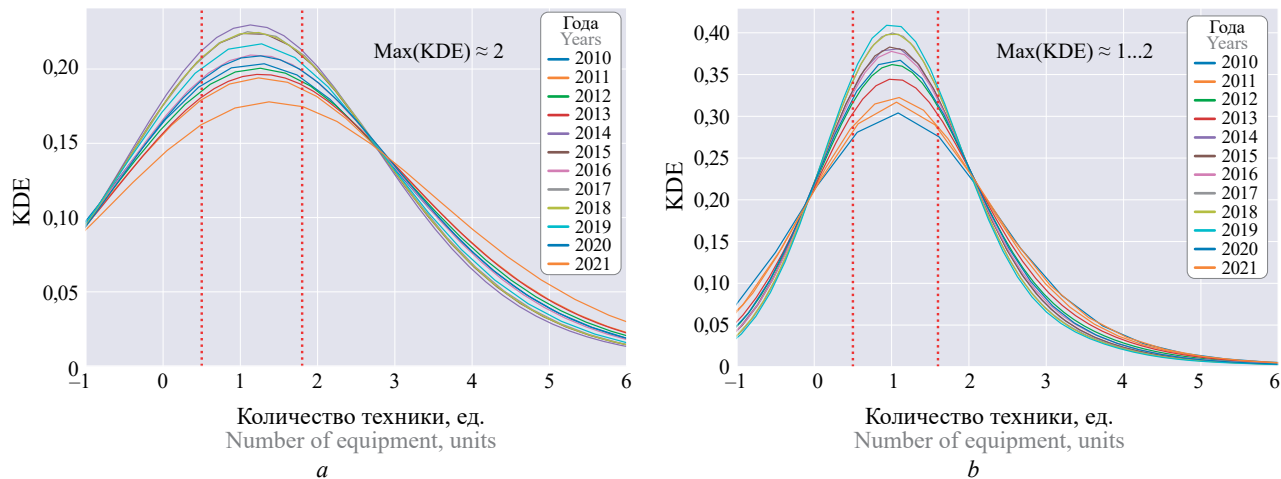


Рис. 8. KDE показателей количества техники (а) и стволов (b), подаваемых на тушение пожаров в зданиях, произошедших в Российской Федерации за 2010–2021 гг.

Fig. 8. KDE indicators of the number of equipment (a) and barrels (b) supplied to extinguish fires extinguishing fires in buildings that occurred in the Russian Federation for 2010–2021 years

ваться, поскольку один пожарный расчет должен комплектоваться фиксированным количеством технических средств и личного состава (например, в интервале 1960–2000 гг. для автоцистерны АЦ-40(130) — 6 человек). Однако в настоящее время на практике зачастую складывается ситуация, когда либо в автомобиле количество расчета меньше штатного, либо конструкция автомобиля рассчитана на иную численность боевого расчета. Поэтому для получения

объективных расчетных значений целесообразно совместно использовать оба показателя.

Заключение (выводы)

В статье приведены данные исследования за интервал с 2010 по 2021 г., поскольку в это время в системе государственного учета пожаров использовалась единая система классификации объектов строитель-

ства. С 2022 г. проводится масштабная модернизация системы, и в настоящее время пока не определена универсальная классификация, актуальная для всего интервала с 2010 г. по настоящее время (это тема следующей статьи).

Исходя из проведенного анализа, разработаны предложения по нормативному правовому обустройству понятий «крупный пожар», «сложный (затяжной) пожар», за исключением природных и ландшафтных пожаров. Предлагаются следующие варианты изменений и дополнений в документы по пожарной безопасности.

1. В федеральный закон. В статье 1 Федерального закона № 69-ФЗ¹, после 2-го абзаца, после слов «... интересам общества и государства» внести следующие дополнения:

- крупный пожар — это пожар, при ликвидации которого одновременно возникли следующие условия: организован нештатный орган управления на пожаре; привлеченное количество основной и (или) специальной мобильной пожарной техники составило семь или более единиц; количество примененных пожарных стволов (ручных и(или) лафетных) составило десять или более единиц; время занятости пожарно-спасательных подразделений, различных их видов, согласно статьи 4 настоящего Федерального закона, составило сто двадцать или более минут;
- сложный (затяжной) пожар — это пожар, при ликвидации которого одновременно возникли следующие условия: привлекались силы и средства местного и территориального пожарно-спасательного гарнизона по повышенным номерам (рангам) вызова [27], а также специальные силы и средства специализированных пожарно-спасательных подразделений; использовалась газодымозащитная служба; время занятости пожарных подразделений, различных их видов, согласно статьи 4 настоящего Федерального закона, составило семьсот двадцать или более минут.

2. В другие документы, которые устанавливают или регулируют основные требования, порядок и организацию действий при анализе, планировании

и ликвидации пожаров, а также проведении аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожара (такими могут выступать «Методические рекомендации по изучению пожаров», утверждаемые МЧС России в установленном внутренними нормативными актами порядке и имеющие официальный статус после подписания уполномоченным должностным лицом):

- крупный пожар — это пожар, при ведении боевых действий на котором возникли следующие условия: организован нештатный орган управления на пожаре, и/или привлеченное количество основной (специальной) пожарной техники составило семь или более единиц, и/или количество примененных пожарных стволов составило десять или более единиц, и/или время занятости пожарных подразделений составило сто двадцать или более минут, и/или количество спасенных людей составило три и более человек, и/или участник(и) тушения пожара подал(и) сигнал бедствия, и/или представляет научный (практический) интерес (тактически сложный пожар);
- сложный пожар — пожар, на котором планируется ведение боевых действий с риском для жизни и здоровья личного состава пожарно-спасательных подразделений, использование газодымозащитной службы (три и более звеньев), требуется спасение и/или эвакуация людей.

На основе анализа классификации способов прекращения горения, общей классификации пожаров, приведенной в учебной и методической специальной литературе, статистических данных, описаний крупных и характерных пожаров, произошедших в стране и за рубежом, предлагается:

- под «способом ведения боевых действий на месте пожара» понимать действие или систему действий, применяемых для прекращения горения;
- под «приемом ведения боевых действий на месте пожара» — выполнение операции и/или ее элементов, обеспечивающих прекращение горения.

Таким образом, сложным пожар предлагается считать до начала его тушения, а крупным — в период его тушения и после.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Власов К.С., Порошин А.А. Исследование региональных особенностей параметров крупных пожаров // Технологии техносферной безопасности. 2022. № 2 (96). С. 82–91. DOI: 10.25257/TTS.2022.2.96.82-91. EDN SMOIAI.
2. Venkatesh Kodur, Puneet Kumar, Muhammad Masood Raf. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety // PSU Research Review. 2020. Vol. 4. No. 1. Pp. 1–23. DOI: 10.1108/PRR-12-2018-0033
3. Faruque Md Omar, Mohammad Zoynal Abedin, Md. Mahidul Alam. A Review on Structural Fire Safety in Urban Area Buildings in Prescriptive Codes of Developing Countries. 2024. DOI: 10.13140/RG.2.2.21327.70563

4. Аксенов С.Г., Мухутдинова А.И. Совершенствование правового регулирования пожарной безопасности в Российской Федерации путем задания опыта европейских стран // Общество и цивилизация. 2022. Т. 4. № 3. С. 6–12. EDN FLTOTB.
5. Paulino M., Paulino L.M. Causes of Household Fires in Rural Areas: an Exploratory Research // Asian Journal of Community Services. 2023. Vol. 2 (5). Pp. 389–394. DOI: 10.55927/ajcs.v2i5.4036
6. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Григорьева М.П., Вагнер П. Моделирование в области обеспечения пожарной безопасности : обзор // Пожаровзрывобезопасность/Fire and explosion safety. 2023. Т. 32. № 1. С. 57–68. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.57-68. EDN NZIKHN.
7. Степанов Е.В., Топольский Н.Г., Вилисов В.Я. Об оценке эффективности проверки готовности пожарных подразделений // Проблемы техносферной безопасности : мат. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. 2021. № 10. С. 144–151. EDN QOXXRX.
8. Власов К.С., Данилов М.М., Денисов А.Н. Крупные пожары — критерии отбора // Пожарная безопасность. 2020. № 3 (100). С. 65–72. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2020.99.86.008. EDN GLYIJG.
9. Степин В.С. Новая философская энциклопедия : в 4 т. Т. 2. М. : Мысль, 2001. 634 с.
10. Голубев С.Г., Каляев С.В., Зильберштейн Ф.Б. Пожарная тактика : учебное пособие. М.-Л. : Наркомхоз РСФСР, 1942. 204 с.
11. Демидов П.Г., Повзик Я.С. Пожарная тактика : учебник. М. : ВИПТШ МВД СССР, 1976. 362 с.
12. Повзик Я.С. Пожарная тактика. М. : ЗАО «Спецтехника», 1999. 411 с.
13. Гарпинченко А.М., Голубев С.Г., Данилов М.В., Кальм А.А., Каляев С.В., Михайлов В.И. Пожарная тактика : учебное пособие. М. : Министерство коммунального хозяйства РСФСР, 1955. 380 с.
14. Кимстач И.Ф. Пожарная тактика : учеб. пособ. Ч. 1. Общие основы пожарной тактики. М. : Высш. школа МООП СССР, 1967. 227 с.
15. Torero J.L. Ignition Handbook : Principles and Applications to Fire Safety Engineering. Fire Investigation, Risk Management and Forensic Science by Vytenis Babrauskas, PhD // Journal of Fire Protection Engineering. 2004. No. 14 (3). Pp. 229–232. DOI: 10.1177/1042391504042549
16. Повзик Я.С., Панарин В.М., Столяренко А.М. и др. Пожарная тактика : учеб. для вузов / под ред. Я.С. Повзика. М. : ВИПТШ, 1984. 480 с.
17. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика : учеб. пособ. для пожар.-техн. учеб. заведений. М. : Стройиздат, 1984. 591 с.
18. Refaee Eshrag, Sheneamer Abdullah, Assiri Basem. A Deep-Learning-Based Approach to the Classification of Fire Types // Applied Sciences. 2024. No. 14. P. 7862. DOI: 10.3390/app14177862
19. Holborn P.G., Nolan P.F., Golt J. An analysis of fire sizes, fire growth rates and times between events using data from fire investigations // Fire Safety Journal. 2004. Vol. 39. Issue 6. Pp. 481–524. DOI: 10.1016/j.fire-saf.2004.05.002
20. Hopkin Charlie, Spearpoint Michael, Wang Yong, Hopkin Danny. Design Fire Characteristics for Probabilistic Assessments of Dwellings in England // Fire Technology. 2019. No. 56. DOI: 10.1007/s10694-019-00925-6
21. Danzi E., Fiorentini L., Marmo L. FLAME: A Parametric Fire Risk Assessment Method Supporting Performance Based Approaches // Fire Technology. 2020. No. 57 (2). Pp. 721–765. DOI: 10.1007/s10694-020-01014-9
22. Вилисов В.Я. Статистический анализ взаимосвязей характеристик пожаров // Дальневосточная весна : мат. XIX Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам экологии и безопасности. Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. С. 233–235. EDN TSOTOL.
23. Kim Youngchan, Heo Yoseob, Jin Byoungsam, Bae Youngchul. Real-Time Fire Classification Models Based on Deep Learning for Building an Intelligent Multi-Sensor System // Fire. 2024. No. 7 (9). P. 329. DOI: 10.3390/fire7090329
24. Порошин А.А., Власов К.С. Понятие «крупный пожар» и критерии его определения // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 3. С. 37–44. URL: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2021/v3/N22_37-44.pdf
25. Власов К.С., Порошин А.А. Метод определения параметров крупных пожаров на основе технологий Big Data // Пожарная безопасность. 2022. № 2 (107). С. 46–54. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2022.107.2.004. EDN AFOHWG.
26. Власов К.С., Зыков В.В., Денисов А.Н. Анализ данных количества пожарной техники, привлекаемой для тушения тактически сложных пожаров // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2013. № 1 (4). С. 104–108. EDN WELHCN.
27. Увалиев Д.С. Привлечение пожарно-спасательных гарнизонов на пожары по повышенным рангам // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : мат. IX Междунар. науч.-практ. конф. М. : Академия Государственной противопожарной службы, 2024. С. 274–279. EDN JNVWJG.

REFERENCES

1. Vlasov K.S., Poroshin A.A. Study of regional features of large fire parameters. *Technosphere Safety Technologies*. 2022; 2(96):82-91. DOI: 10.25257/TTS.2022.2.96.82-91. EDN SMOIAI. (rus).
2. Venkatesh Kodur, Puneet Kumar, Muhammad Masood Raf. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety. *PSU Research Review*. 2020; 4(1):1-23. DOI: 10.1108/PRR-12-2018-0033
3. Faruque Md Omar, Mohammad Zoynal Abedin, Md. Mahidul Alam. *A Review on Structural Fire Safety in Urban Area Buildings in Prescriptive Codes of Developing Countries*. 2024. DOI: 10.13140/RG.2.2.21327.70563
4. Aksyonov S.G., Mukhutdinova A.I. Improving the legal regulation of fire safety in the Russian Federation by setting the experience of European countries. *Society and Civilization*. 2022; 4(3):6-12. EDN FLTOTB. (rus).
5. Paulino M., Paulino L.M. Causes of Household Fires in Rural Areas : an Exploratory Research. *Asian Journal of Community Services*. 2023; 2(5):389-394. DOI: 10.55927/ajcs.v2i5.4036
6. Brushlinsky N.N., Sokolov S.V., Grigorieva M.P., Wagner P. Modeling in the field of fire safety : review. *Pozharovzryvbezopasnost' / Fire and Explosion Safety*. 2023; 32(1):57-68. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.57-68. EDN NZIKHH. (rus).
7. Stepanov E.V., Topolsky N.G., Vilisov V.Ya. Assessing the effectiveness of checking the readiness of fire departments. *Problems of technosphere safety : materials of the international scientific and practical conference of young scientists and specialists*. 2021; 10:144-151. EDN QOXXRX. (rus).
8. Vlasov K.S., Danilov M.M., Denisov A.N. Large fires — selection criteria. *Fire safety*. 2020; 3(100):65-72. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2020.99.86.008. EDN GLYIJG. (rus).
9. Stepin V.S. *New philosophical encyclopedia : in 4 volumes. Volume 2*. Moscow, Mysl', 2001; 634. (rus).
10. Golubev S.G., Kalyaev S.V., Zil'bershtejn F.B. Fire Tactics. *Study Guide*. Moscow-Leningrad, People's Commissariat of the RSFSR, 1942; 204. (rus).
11. Demidov P.G., Povzik Ya.S. *Fire Tactics : textbook*. Moscow, VIPTSh MVD USSR, 1976; 362. (rus).
12. Povzik Ya.S. *Fire tactics*. Moscow, ZAO "Spectekhnika", 1999; 411. (rus).
13. Garpinchenko A.M., Golubev S.G., Danilov M.V., Kalm A.A., Kalyaev S.V., Mikhailov V.I. *Fire tactics : textbook*. Moscow, Ministry of Public Utilities of the RSFSR, 1955; 380. (rus).
14. Kimstach I.F. *Fire tactics : a textbook*. Part 1: General principles of fire tactics. Moscow, Higher school of the USSR MOOP, 1967; 227. (rus).
15. Torero J.L. Ignition Handbook : Principles and Applications to Fire Safety Engineering, Fire Investigation, Risk Management and Forensic Science by Vytenis Babrauskas, PhD. *Journal of Fire Protection Engineering*. 2004; 14(3):229-232. DOI: 10.1177/1042391504042549
16. Povzik Ya.S., Panarin V.M., Stolyarenko A.M. et al. *Fire tactics : textbook for universities / ed. Ya.S. Povzik*. Moscow, VIPTSh, 1984; 480. (rus).
17. Kimstach I.F., Devlishev P.P., Evtyushkin N.M. *Fire tactics : a textbook for fire-technical educational institutions*. Moscow, Stroyizdat, 1984; 591. (rus).
18. Refaee Eshrag, Sheneamer Abdullah, Assiri Basem. A Deep-Learning-Based Approach to the Classification of Fire Types. *Applied Sciences*. 2024; 14:7862. DOI: 14.7862.10.3390/app14177862
19. Holborn P.G., Nolan P.F., Golt J. An analysis of fire sizes, fire growth rates and times between events using data from fire investigations. *Fire Safety Journal*. 2004; 39(6):481-524. DOI: 10.1016/j.firesaf.2004.05.002
20. Hopkin Charlie, Spearpoint Michael, Wang Yong, Hopkin Danny. Design Fire Characteristics for Probabilistic Assessments of Dwellings in England. *Fire Technology*. 2019; 56. DOI: 10.1007/s10694-019-00925-6
21. Danzi E., Fiorentini L., Marmo L. FLAME: A Parametric Fire Risk Assessment Method Supporting Performance Based Approaches. *Fire Technology*. 2020; 57(2):721-765. DOI: 10.1007/s10694-020-01014-9
22. Vilisov V.Ya. Statistical Analysis of Relationships between Fire Characteristics. *Far Eastern Spring : Proceedings of the 19th International Scientific and Practical Conference on Ecology and Safety*. Komsomolsk-on-Amur, Komsomolsk-on-Amur State University, 2021; 233-235. EDN TSOTOL. (rus).
23. Kim Youngchan, Heo Yoseob, Jin Byoungsam, Bae Youngchul. Real-Time Fire Classification Models Based on Deep Learning for Building an Intelligent Multi-Sensor System. *Fire*. 2024; 7(9):329. DOI: 10.3390/fire7090329
24. Poroshin A.A., Vlasov K.S. The concept of "large fire" and the criteria for its definition. *Siberian fire and rescue bulletin*. 2021; 3:37-44. URL: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2021/v3/N22_37-44.pdf (rus).
25. Vlasov K.S., Poroshin A.A. Method for determining the parameters of large fires based on Big Data technologies. *Fire safety*. 2022; 2(107):46-54. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2022.107.2.004. EDN AFOHWG. (rus).
26. Vlasov K.S., Zykov V.V., Denisov A.N. Analysis of data on the number of fire-fighting equipment used to extinguish tactically complex fires. *Fire safety: problems and prospects*. 2013; 1(4):104-108. EDN WELHCN. (rus).
27. Uvaliev D.S. Involvement of fire and rescue garrisons to fires by increased ranks. *Fire extinguishing: problems, technologies, innovations : Proceedings of the IX international scientific and practical conference*. Moscow, Academy of the State Fire Service, 2024; 274-279. EDN JNVWJG.

Поступила 26.08.2024, после доработки 18.03.2025;

принята к публикации 19.03.2025

Received August 26, 2024; Received in revised form March 18, 2025;

Accepted March 19, 2025

Информация об авторах

ДЕНИСОВ Алексей Николаевич, д.т.н., профессор, 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: 0000-0003-2594-9389; РИНЦ ID: 231119; SPIN-код: 1845-4634; WOS ResearchID: AAA-7038-2021; e-mail: dan_aleks@mail.ru

ПОРОШИН Александр Алексеевич, д.т.н., Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; ORCID: 0000-0001-9849-7024; РИНЦ ID: 413567; SPIN-код: 8429-8250; e-mail: vniipo_1_3@mail.ru

ДАНИЛОВ Михаил Михайлович, к.т.н., доцент, профессор, 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: 0000-0003-2732-7620; РИНЦ ID: 853796; SPIN-код: 1539-8110; WOS ResearcherID: LPQ-7253-2024; e-mail: mdagps@yandex.ru

ВЛАСОВ Константин Сергеевич, к.т.н., Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; ORCID: 0000-0003-2499-169X; РИНЦ ID: 757669; SPIN-код: 3768-3260; WOS ResearcherID: U-1177-2018; e-mail: vlasov-k@yandex.ru

МЕШАЛКИН Евгений Александрович, д.т.н., профессор, ООО «Гефест групп», Россия, 123098, г. Москва, вн. тер. г. Муниципальный округ Щукино, ул. Гамалеи, 19, к. 2, этаж/помещение 1/V, комната/офис 5/33; ORCID: 0000-0003-4237-0598; РИНЦ ID: 22313; e-mail: meshalkin@gefest.com.ru

ШЕВЦОВ Максим Викторович, к.т.н., 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: 0000-0002-5537-2392; РИНЦ ID: 1132516; SPIN-код: 2206-2472; e-mail: shevtsovmv@mail.ru

Information about the authors

Aleksey N. DENISOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2594-9389; ID RSCI: 231119; SPIN-code: 1845-4634; WOS ResearchID: AAA-7038-2021; e-mail: dan_aleks@mail.ru

Aleksander A. POROSHIN, Dr. Sci. (Eng.), All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9849-7024; ID RSCI: 413567; SPIN-code: 8429-8250; e-mail: vniipo_1_3@mail.ru

Mikhail M. DANILOV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2732-7620; ID RSCI: 853796; SPIN-code: 1539-8110; WOS ResearcherID: LPQ-7253-2024; e-mail: mdagps@yandex.ru

Konstantin S. VLASOV, Cand. Sci. (Eng.), All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2499-169X; ID RSCI: 757669; SPIN-code: 3768-3260; WOS ResearcherID: U-1177-2018; e-mail: vlasov-k@yandex.ru

Evgeniy A. MESHALKIN, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Gefest Group Limited Liability Company, Gamalei St., 19, bldg. 2, floor/room 1/V, room/office 5/33, Moscow, inner territory of the city, Municipal District Shchukino, 123098, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4237-0598; ID RSCI: 22313; e-mail: meshalkin@gefest.com.ru

Maksim V. SHEVTSOV, Cand. Sci. (Eng.), the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-5537-2392; ID RSCI: 1132516; SPIN-code: 2206-2472; e-mail: shevtsovmv@mail.ru

Вклад авторов:

Денисов А.Н. — идея; анализ описаний пожаров и исследований; анализ возможных подходов к определению понятий; предложен ряд критериев для его обоснования.

Порошин А.А. — идея; общее руководство; обработка материала; научное редактирование.

Данилов М.М. — сбор материала; обзор теоретических основ распространения опасных факторов пожара, расчетных методик и моделей; анализ показателей количества техники.

Власов К.С. — идея; сбор материала; идентификация признака сложности пожара по «расписанию выезда»; распределение по продолжительности тушения пожаров в зданиях; комплексный анализ.

Мешалкин Е.А. — общее руководство; обработка материала; научное редактирование.

Шевцов М.В. — написание текста; обработка материала. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors:

Denisov A.N. — idea; analysis of fire descriptions and studies; analysis of possible approaches to defining concepts; proposed a number of criteria for its justification.

Poroshin A.A. — idea; general guidance; material processing; scientific editing.

Danilov M.M. — collection of material; review of the theoretical foundations of the spread of fire hazards, calculation methods and models; analysis of equipment quantity indicators.

Vlasov K.S. — idea; collection of material; identification of a sign of fire complexity according to the “departure schedule”; distribution by duration of extinguishing fires in buildings; comprehensive analysis.

Meshalkin E.A. — general guidance; material processing; scientific editing.

Shevtsov M.V. — writing; material processing. The authors declare no conflicts of interests.

Процесс формирования взрывоопасной смеси в экспериментальной камере

Александр Андреевич Комаров ✉, Николай Викторович Громов,
Леонид Валентинович Рядченко

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Для подготовки качественной газовой смеси часто используют вентиляторы, которые не только перемешивают смесь, но и создают потоки со значительными пульсационными составляющими. Это приводит к значительным погрешностям и плохой повторяемости экспериментов.

Цель. Основная цель настоящего исследования заключалась в определении времени, необходимого для качественного смешивания горючего газа и воздуха, находящихся в экспериментальной камере. Пространственная равномерность газовой концентрации горючей смеси оказывает решающее значение на результаты проводимых опытов.

Методы исследования. В статье приводятся результаты расчетов по программам, достоверность вычислений которых проверена на результатах тестовых расчетов задач, имеющих аналитические решения. В качестве исходных уравнений, описывающих распределение концентрации газа по пространству экспериментальной камеры, использовались известные уравнения диффузии. При расчетах использовался коэффициент турбулентной диффузии, численное значение которого соответствует минимальному значению для закрытых помещений: $D = 0,005 \text{ м}^2/\text{с}$. Расчеты осуществлялись по явной разностной схеме в пакете MatLab.

Результаты. В статье приводятся результаты расчетов пространственного распределения концентрации газа в экспериментальной камере для различных моментов времени. Получено минимальное время, которое необходимо для формирования качественной газовой смеси в камере. Приведенные в статье мгновенные фотографии дефлаграционного взрыва показывают, что за счет естественной диффузии сформирована однородная смесь хорошего качества. Временные интервалы, которые были использованы для смешения горючего газа и воздуха в испытательной камере, соответствовали полученным расчетным значениям времени, необходимого для качественной подготовки горючей смеси.

Выводы. В настоящей статье показано, что для подготовки качественной газовой смеси не следует использовать вентиляторы и что с данной проблемой хорошо справляется естественная турбулентная диффузия газов. Расчетным путем получены минимальные интервалы времени, которые необходимы для формирования в кубической камере произвольного размера качественной газовой смеси.

Ключевые слова: коэффициент диффузии; концентрация газа; экспериментальная камера; дефлаграционный взрыв; взрывоопасная смесь; фронт пламени

Для цитирования: Комаров А.А., Громов Н.В., Рядченко Л.В. Процесс формирования взрывоопасной смеси в экспериментальной камере // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 2. С. 20–31. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.20-31

✉ Комаров Александр Андреевич, e-mail: KomarovAA@mgisu.ru

The process of explosive mixture formation in the experimental chamber

Alexander A. Komarov ✉, Nikolai V. Gromov, Leonid V. Ryadchenko

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. To prepare a high-quality gas-air mixture, fans are often used, which not only agitate the mixture, but also create flows with significant pulsation components. This leads to significant errors and poor repeatability of experiments.

Aim. The main purpose of this study was to determine the time required for high-quality mixing of combustible gas and air in the experimental chamber. The spatial uniformity of the gas concentration of the combustible mixture is crucial for the results of the experiments.

Research methods. The paper presents the results of calculations for programmes, the reliability of calculations of which is verified by the results of test calculations of problems with analytical solutions. The well-known diffu-

sion equations were used as the initial equations describing the distribution of gas concentration over the space of the experimental chamber. The calculations used the coefficient of turbulent diffusion, the numerical value of which corresponds to the minimum value for enclosed spaces: $D = 0.005 \text{ m}^2/\text{s}$. The calculations were carried out according to an explicit difference scheme in the MatLab package.

Calculation results. The paper presents the results of calculations of the spatial distribution of the gas concentration in the experimental chamber for various time points. The minimum time required for the formation of a high-quality gas-air mixture in the chamber was obtained. The instantaneous photographs of the deflagration explosion shown in the paper show that a homogeneous mixture of good quality has been formed due to natural diffusion. The time intervals that were used to mix the combustible gas and air in the test chamber corresponded to the calculated values of the time required for high-quality preparation of the combustible mixture.

Conclusions. This paper shows that fans should not be used to prepare a high-quality gas-air mixture and that natural turbulent gas diffusion copes well with this problem. The minimum time intervals necessary for the formation of a high-quality gas-air mixture in a cubic chamber of arbitrary size were calculated.

Keywords: diffusion coefficient, gas concentration, experimental chamber, deflagration explosion, explosive mixture, flame front

For citation: Komarov A.A., Gromov N.V., Ryadchenko L.V. The process of explosive mixture formation in the experimental chamber. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(2):20-31. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.20-31 (rus).

✉ Alexander Andreevich Komarov, e-mail: KomarovAA@mgsu.ru

Введение

При экспериментальном исследовании процесса взрывного горения (дефлаграционного взрыва) внутри зданий и помещений чаще всего используется смесь стехиометрического состава. Связано это с тем, что для обеспечения взрывоустойчивости строительных объектов в качестве возможной взрывной аварии рассматривается сценарий ее развития, в результате которого создается наиболее высокое взрывное давление. Дефлаграционные взрывы смесей стехиометрического состава характеризуются наибольшей скоростью взрывного горения, поэтому при экспериментальных исследованиях используются, как правило, смеси стехиометрического состава.

Проблема создания внутри модельных установок смесей стехиометрического состава всегда стояла перед исследователями. Для этого могут применяться вентиляторы, например, как это описано в работах [1–3].

При проведении экспериментальных исследований, направленных на изучение дефлаграционных аварийных взрывов, качество смеси (пространственное распределение горючего и его количественный состав) оказывает решающее значение на результаты опытов. Достоверная информация о закономерностях процесса формирования взрывоопасных облаков необходима для качественного проведения экспериментальных исследований в области взрывобезопасности и взрывоустойчивости объектов.

Концентрация, при которой смесь является взрывоопасной, находится между верхним и нижним концентрационными пределами взрываемости. Для большинства смесей взрывоопасная концентрация находится в пределах от 1 до 20 объемных процентов. Поэтому для возникновения взрыва необходимо, чтобы взрывоопасное вещество (газ или пар) было значительно обогащено или разбавлено воздухом.

С учетом данного обстоятельства для подготовки качественной (хорошо перемешанной) газозвдушной смеси исследователи часто используют вентиляторы [4], которые не только перемешивают смесь, но и создают потоки со значительными пульсационными составляющими, затухание которых (особенно для больших объемов испытательных камер) требует значительного времени и плохо поддается контролю со стороны испытателя. Это часто приводит к значительным погрешностям и плохой повторяемости экспериментов.

Целью настоящего исследования является определение времени, необходимого для качественного смешивания горючего газа, помещаемого в замкнутую экспериментальную камеру, с находящимся в камере воздухом.

В настоящей статье утверждается, что для подготовки качественной газозвдушной смеси не нужно использовать вентиляторы и что с данной проблемой достаточно хорошо справляется естественная диффузия газов [5].

Задачей исследования является подтверждение данного утверждения с помощью расчетов.

Методы исследования

Временная зависимость распределения концентрации вещества по объему описывается известным уравнением диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + Q - \text{div}(\vec{U} \cdot C), \quad (1)$$

где C — концентрация вещества в смеси (объемная);

D — коэффициент турбулентной диффузии, m^2/s ;

Q — удельный объемный приток вещества (на единицу объема), $1/\text{s}$;

U — скорость воздушной среды, m/s ;

t — время, с;

x, y, z — координаты, м.

Уравнение (1) имеет следующее решение:

$$C(r, t) = \int_0^t \frac{Q}{2^n \cdot (\pi D \cdot \tau)^{n/2}} \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{4D \cdot \tau}\right) d\tau, \quad (2)$$

где $r = x$ для одномерного случая, $r^2 = x^2 + y^2$ для двухмерного случая, $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$ для трехмерного случая;

r — расстояние от источника до точки наблюдения;

t — время;

Q (м³/с) — объемный расход источника;

n — размерность задачи ($n = 1, 2, 3$);

x, y, z — координаты.

Для случая мгновенного выброса вещества выражение (2) приобретает следующий вид:

$$C(r, t) = \frac{X_0^n}{2^n \cdot (\pi D \cdot \tau)^{n/2}} \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{4D \cdot \tau}\right), \quad (3)$$

где X_0^n — объем мгновенного выброса (м³).

При решении практических задач, связанных с диффузионными процессами, применяются численные методы. В нашем случае численное интегрирование уравнения (1) проводилось явным образом, а временной шаг выбирался из устойчивости схемы, скорость потока в камере принимается равной нулю.

На твердых границах принимается условие непротекания вещества, т.е. условие $\partial C / \partial x = 0$. На границе, где задана концентрация (например, нулевая концентрация на открытом проеме объема), во внешних ячейках принимается заданная заранее концентрация.

Авторами при проведении расчетов использовались уравнения, записанные в безразмерном виде. Для приведения уравнения диффузии к безразмерному виду в качестве единицы длины будем использовать характерный линейный размер объема L : радиус для сферы, половину ребра куба для кубического объема, а в качестве единицы времени будем использовать величину $t_0 = L^2 / D$. Тогда одномерное уравнение диффузии примет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial \bar{t}} = \frac{\partial^2 C}{\partial \bar{x}^2}, \quad (4)$$

где $\bar{t} = t / t_0$, $\bar{x} = x / L$.

Для перехода к цилиндрическим или сферическим координатам уравнение (4) должно быть записано в виде:

$$\frac{\partial}{\partial \bar{t}} (Q \cdot C) = \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left(Q \cdot \frac{\partial C}{\partial \bar{x}} \right), \quad (5)$$

где $Q = 1$ для одномерного варианта расчета, $Q = \bar{x}$ для цилиндрической симметрии, $Q = \bar{x}^2$ для сферической симметрии.

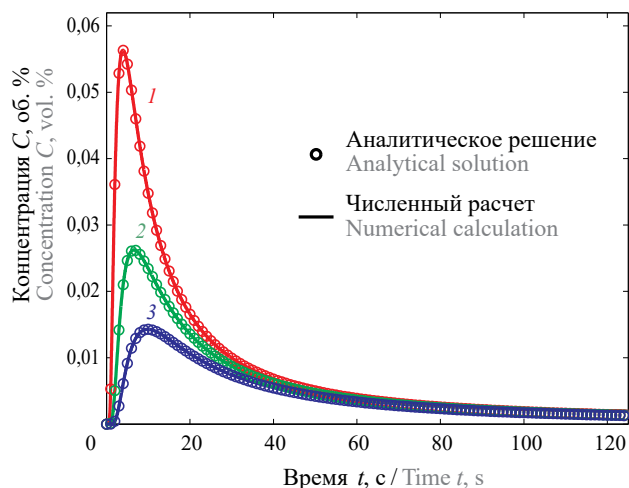


Рис. 1. Зависимости от времени концентрации вещества в трех точках пространства. Результаты численных и аналитических расчетов

Fig. 1. Time dependences of the concentration of a substance at three points in space. Results of numerical and analytical calculations

Тогда уравнение (5) для цилиндрической симметрии примет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial \bar{t}} = \frac{\partial^2 C}{\partial \bar{x}^2} + \frac{1}{\bar{x}} \cdot \frac{\partial C}{\partial \bar{x}}, \quad (6)$$

а для сферической симметрии уравнение (5) примет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial \bar{t}} = \frac{\partial^2 C}{\partial \bar{x}^2} + \frac{2}{\bar{x}} \cdot \frac{\partial C}{\partial \bar{x}}. \quad (7)$$

Рассмотрим результаты расчета распространения под действием диффузии вещества по объему применительно к кубической камере, используемой авторами при проведении опытов.

Линейный размер камеры (ее ребро) составляет 2,15 м, объем камеры равен 10 м³. Характерный линейный размер камеры равен: $L = 2,15 / 2 = 1,075$ м.

На рис. 1 приведены результаты численного расчета уравнения (7), описывающего временную зависимость концентрации для сферической симметрии, и приведены результаты расчета, выполненного по соотношению (3), описывающему аналитическое решение задачи в сферической симметрии. Удовлетворительное согласие между результатами численных расчетов и аналитическим решением говорит об адекватности расчетной схемы.

Расчет выполнен для трех точек пространства, положение которых и начальные условия задачи показаны на рис. 2.

Расчетная область была разбита на 107 расчетных ячеек, размер которых составлял 0,01 м = 1 см. В двух центральных ячейках находился газ с концентрацией 100 об. %. Расположение точек вывода временной

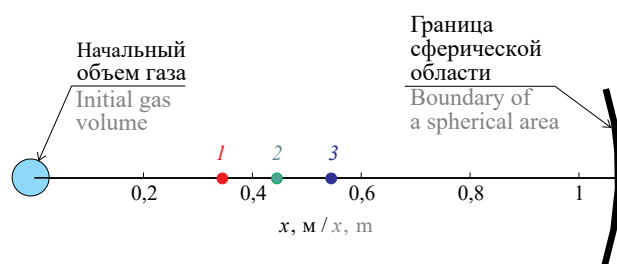


Рис. 2. Начальные и граничные условия с указанием точек вывода временных зависимостей концентрации
Fig. 2. Initial and boundary conditions with indication of points of derivation of time dependences of concentrations

зависимости концентрации, показанных на рис. 1, приведено на рис. 2. Вывод временных зависимостей концентрации производился в 35, 45 и 55-й расчетных ячейках. При расчетах использовалось следующее значение коэффициента турбулентной диффузии: $D = 0,005 \text{ м}^2/\text{с}$. Данная величина соответствует минимальному значению турбулентной диффузии [6–8], экспериментально полученной для пропана при его распространении по помещению типовой кухни.

Используемое авторами в расчетах значение коэффициента турбулентной диффузии ($D = 0,005 = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$) значительно превышает значение коэффициента ламинарной диффузии, который приводится в справочниках. Например, коэффициент ламинарной диффузии метана в воздух составляет около $D = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, а коэффициент ламинарной диффузии пропана составляет около $D = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$. Связано это с тем, что коэффициенты ламинарной диффузии не соответствуют физической картине смешения газов в реальных помещениях или экспериментальной камере.

Значительное превышение коэффициента турбулентной диффузии, который реализуется в реальных помещениях, над коэффициентом ламинарной диффузии подтверждают результаты экспериментов. Экспериментальные исследования, приведенные в работах [9–11], показывают, что коэффициент турбулентной диффузии составляет не менее $D = 0,0058 = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$. Коэффициент диффузии экспериментально определялся в трубе с диаметром 100 мм, длина которой составляла около 4,5 м. Эксперименты показали, что коэффициент турбулентной диффузии не превышает значения $D = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$. Используемая автором [9–11] схема проведения эксперимента позволяет говорить, что в этом случае реализуется минимальное значение турбулентной диффузии [12].

Кроме этого, исследования, результаты которых приведены в работах [6, 7, 13], показали, что коэффициент турбулентной диффузии при формировании взрывоопасных смесей в аварийных ситуациях и в реальных помещениях составляет не менее $D = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$.

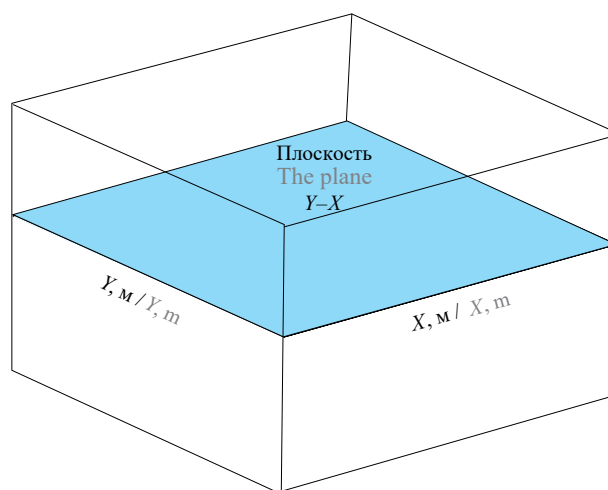


Рис. 3. Схема расчетной области
Fig. 3. Schematic of the design area

Поэтому при дальнейших расчетах значение коэффициента турбулентной диффузии авторами будет приниматься равным $D = 0,005 \text{ м}^2/\text{с}$. Это позволяет определить время, за которое гарантированно происходит качественное перемешивание смеси за счет диффузионных процессов.

Ниже приведены численные расчеты распространения газа по экспериментальной камере, выполненные для трехмерной задачи. Расчетная схема в этом случае аппроксимирует уравнение (1). Аналитическое решение для сферической симметрии описывается уравнением (3) при $n = 3$.

На рис. 3 приведена схема расчетной области и показана плоскость, в которой осуществлялся вывод результатов расчета.

Расчетная трехмерная область разбивалась на 43 ячейки по каждому направлению. Размер ячейки составлял $0,05 \text{ м} = 5 \text{ см}$. Ребро куба имело размер 2,15 см.

При проведении данного расчета было задано, что в центральных ячейках куба (ячейки 21, 22 и 23 по всем направлениям) находится газ. Точки вывода временной зависимости концентрации находились в ячейках $X = 10, 12, 14$; $Y = 22, 22, 22$; $Z = 22, 22, 22$.

На рис. 4 приведены результаты численного расчета и результаты расчета по аналитическому соотношению (3). Коэффициент турбулентной диффузии был принят равным $D = 0,005 \text{ м}^2/\text{с}$.

Удовлетворительное согласие между расчетом и аналитическим решением говорит об адекватности численной расчетной схемы, описывающей распространение газа в трехмерной области.

На рис. 5 приведены изолинии равной концентрации газа через 7,5 с после выброса. Численные значения изолиний концентрации: внешняя изолиния — 2 %, далее — 3, 4, 6 и 8 об. %. На рис. 5 указаны точки вывода временных зависимостей концентрации, приведенных на рис. 4.

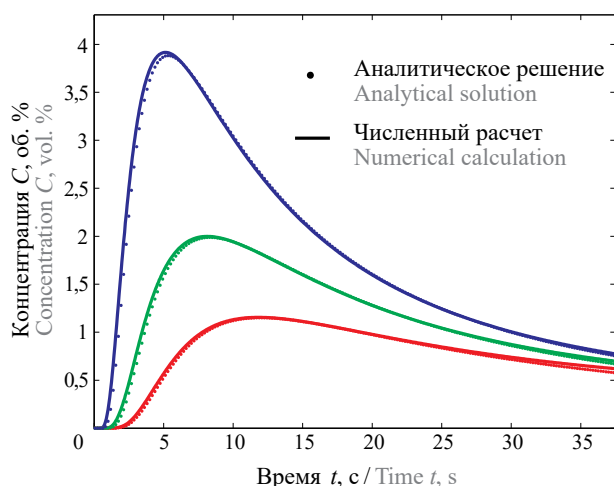


Рис. 4. Результаты расчетов по трехмерной численной схеме. Зависимости концентрации вещества от времени в трех точках пространства. Сравнение численных и аналитических решений
Fig. 4. Results of calculations by three-dimensional numerical scheme. Dependences of substance concentration on time in three points of space. Comparison of numerical and analytical solutions

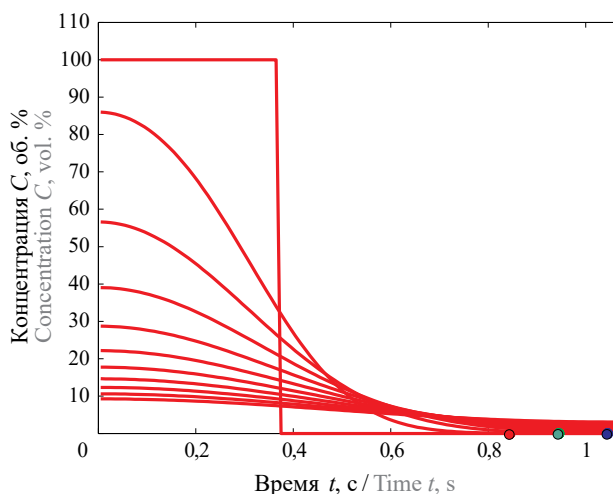


Рис. 6. Мгновенные профили концентрации газа в сфере с радиусом 1,075 м, которая схематизирует экспериментальную камеру с ребром 2,15 м
Fig. 6. Instantaneous gas concentration profiles in a sphere with a radius of 1.075 m, which schematizes an experimental chamber with a 2.15 m rib

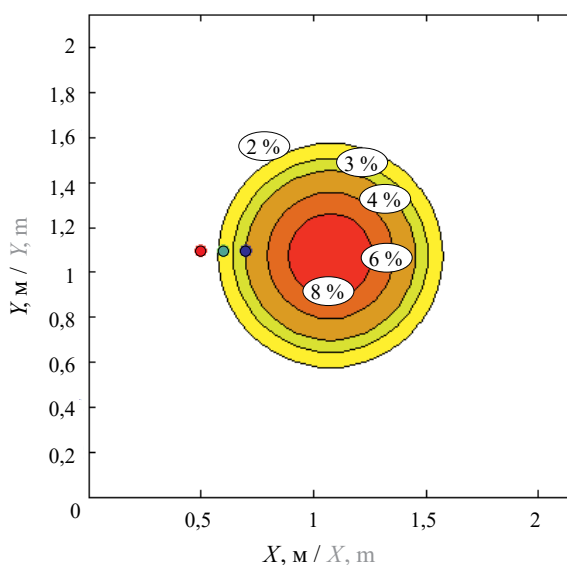


Рис. 5. Изолинии равных концентраций газа через 7,5 с после выброса. Внешняя изолиния — 2 %, далее — 3, 4, 6 и 8 об. %
Fig. 5. Isolines of equal gas concentrations 7.5 seconds after release. External isolation — 2 %, then — 3, 4, 6 and 8 vol. %

Результаты

Учитывая приведенное выше удовлетворительное согласие между результатами численных расчетов по разработанным программам и аналитическими решениями, рассмотрим процесс распространения газа по экспериментальной кубической камере с линейным размером ребра 2,15 м. Необходимость детального изучения дефлаграционных взрывов, реализующихся при аварийных ситуациях, достаточно подробно обоснована в публикациях [8, 14, 15].

Сначала рассмотрим результаты расчета по программе, аппроксимирующей уравнение (7), описывающее диффузию газов в сферической симметрии.

Расчетная область (аналогично предыдущей задаче в сферической симметрии) была разбита на 107 расчетных ячеек, размер которых составлял 0,01 м = 1 см. В 37 центральных ячейках находился газ с концентрацией 100 об. %. Расположение точек вывода временной зависимости концентрации приведено на рис. 6. Вывод временных зависимостей концентрации производился в 85, 95 и 105-й расчетных ячейках. Коэффициент турбулентной диффузии в графиках, где приведено размерное время, был принят равным $D = 0,005 \text{ м}^2/\text{с}$. В графиках, где используется безразмерное время, за единицу времени принята величина: $t_0 = L^2/D = 231,0 \text{ с}$, где $L = 1,075 \text{ м}$.

На рис. 6 приведены мгновенные профили концентрации газа через каждые 2,5 с.

На рис. 7 приведены результаты численного расчета уравнения (7), описывающего временную зависимость концентрации в трех точках сферы, схематизирующей экспериментальную камеру.

Из расчетов следует, что при центральной подаче газа в камеру пространственное выравнивание концентрации происходит примерно через 60 с после подачи газа. В безразмерном виде это соответствует примерно моменту времени $t/t_0 = 0,3$. Соответственно, при подаче газа в верхнюю часть камеры время выравнивания концентрации увеличивается в 4 раза, так как линейный размер объема увеличивается в 2 раза, а единица времени в данной задаче зависит от квадрата линейного размера области — $t_0 = L^2/D$.

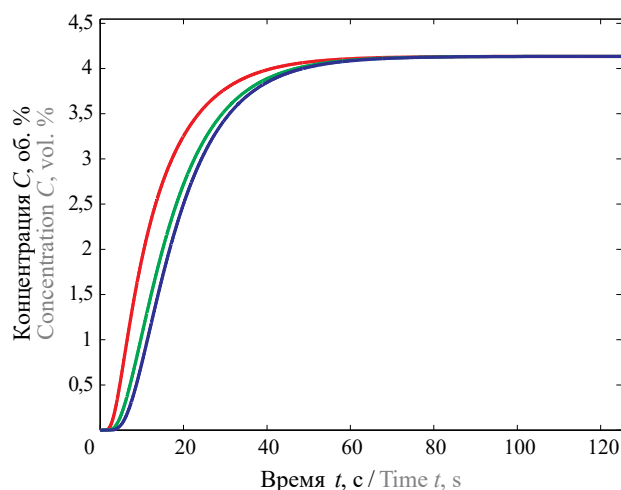


Рис. 7. Временные зависимости концентрации в трех точках
Fig. 7. Time dependences of concentrations at three points

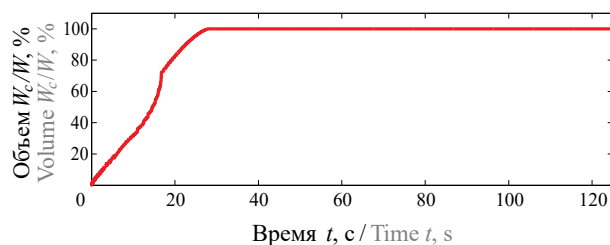


Рис. 8. Временные зависимости, описывающие процесс формирования в сферической камере взрывоопасной смеси
Fig. 8. Time dependences describing the process of explosive mixture formation in a spherical chamber

На рис. 8 приведены временные зависимости, описывающие процесс формирования взрывоопасной смеси в камере.

На рис. 8 показано отношение (в процентах) объема смеси, находящейся во взрывоопасной концентрации (концентрация смеси от 2 до 8 об. %), к общему объему камеры.

На рис. 8 видно, что уже через 30 с после центральной подачи газа в камеру (при верхней подаче через $30 \cdot 4 = 120$ с) в камере формируется взрывоопасная смесь, но ее пространственная равномерность достигается только через 60 с (при верхней подаче через $60 \cdot 4 = 240$ с). Необходимо учесть, что это относится к сферической камере, у которой отсутствуют угловые элементы.

Аналогичные расчеты были проведены для трехмерной задачи.

Рассмотрим результаты расчета по программе, аппроксимирующей уравнение (1), описывающее диффузию газов в трехмерном пространстве. На рис. 3 была приведена схема расчетной области и показана плоскость, в которой осуществляется вывод результатов расчета. На рис. 9 приведены начальные условия расчетной задачи в плоскости, изображенной на рис. 3. Там же указаны точки вывода временных зависимостей концентраций. Точки вывода временной зависи-

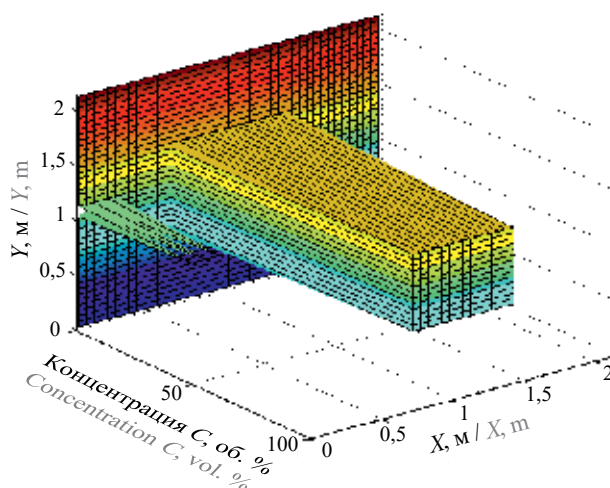


Рис. 9. Начальное состояние системы, принятое в расчетах
Fig. 9. Initial state of the system assumed in calculations

мости концентрации находились в ячейках $X = 1, 3, 5$; $Y = 22, 22, 22$; $Z = 22, 22, 22$.

На рис. 10 приведены изолинии равной концентрации газа для двух моментов времени: через 5,0 и 10,0 с после выброса. На рис. 10 указаны точки вывода временных зависимостей концентрации, приведенных на рис. 11.

На рис. 11 приведены результаты численного расчета уравнения (1), описывающего временную зависимость концентрации в трех точках экспериментальной камеры. Вывод временных зависимостей концентрации производился в ячейках $X = 1, 3, 5$; $Y = 22, 22, 22$; $Z = 22, 22, 22$. Коэффициент турбулентной диффузии в графиках, где приведено размерное время, был принят равным $D = 0,005 \text{ м}^2/\text{с}$. При использовании безразмерного времени за единицу времени следует принять величину $t_0 = L^2/D = 231,0 \text{ с}$, где $L = 1,075 \text{ м}$.

Из расчетов, приведенных на рис. 11, следует, что при центральной подаче газа в камеру пространственное выравнивание концентрации происходит примерно через 100 с после подачи газа. В безразмерном виде это соответствует примерно моменту времени $t/t_0 = 0,4$. Соответственно, при подаче газа в верхнюю часть камеры время выравнивания концентрации увеличивается в 4 раза. Полученное время несколько больше, чем было получено для камеры сферической формы, что объясняется наличием угловых полостей у кубической камеры.

На рис. 12 приведены временные зависимости, описывающие процесс формирования взрывоопасной смеси в камере. На рис. 12 показано отношение (в процентах) объема смеси, находящейся во взрывоопасной концентрации (концентрация смеси от 2 до 8 об. %), к общему объему камеры. Из приведенного рисунка видно, что через 45 с после подачи газа в центр камеры (при подаче в верхнюю часть камеры через $45 \cdot 4 = 180$ с) в камере возникает

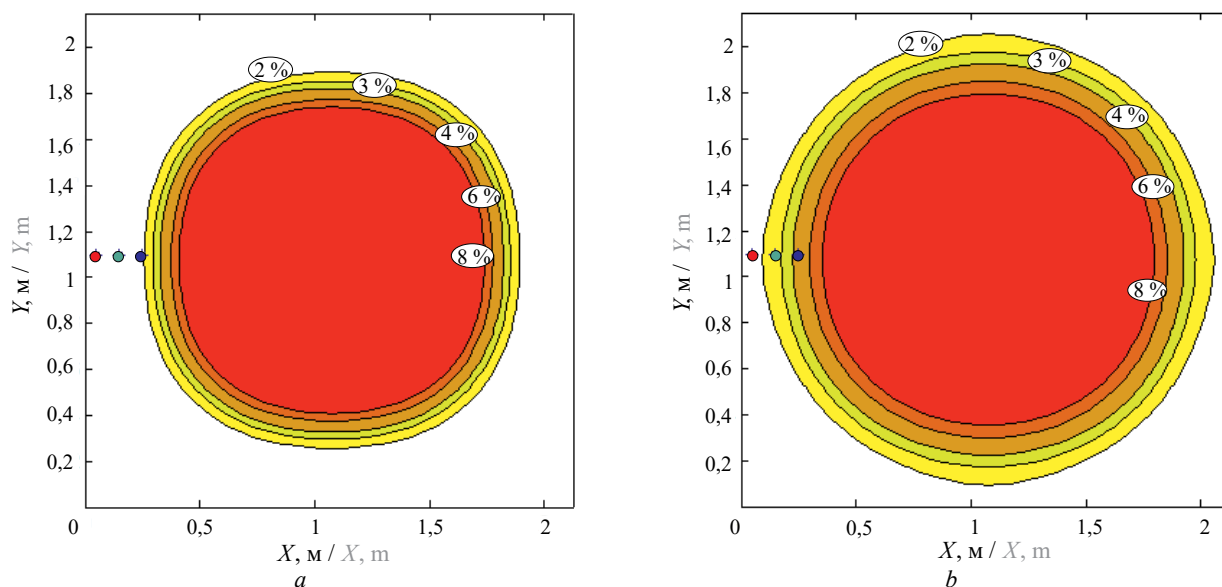


Рис. 10. Изолинии равных концентраций газа: *a* — через 5,0 с; *b* — через 10,0 с после выброса. Внешняя изолиния — 2 %, далее — 3, 4, 6 и 8 об. %

Fig. 10. Isolines of equal gas concentrations: *a* — 5.0 seconds later; *b* — 10.0 seconds after release. External isolation — 2 %, then — 3, 4, 6 and 8 vol. %

взрывоопасная смесь, хотя ее удовлетворительная равномерность по пространству (см. рис. 11) создается только через 100 с. Соответственно, при верх-

ней подаче газа пространственная равномерность достигается только через $100 \cdot 4 = 400$ с или через 6,7 мин, т.е. почти через 7 мин.

Рассмотрим вариант подачи газа в верхнюю часть камеры. Расчетная схема в этом случае аппроксимирует уравнение (1), т.е. расчеты были проведены для трехмерной задачи. Коэффициент турбулентной диффузии был принят равным $D = 0,005 \text{ м}^2/\text{с}$.

На рис. 13 приведена схема расчетной области и показана плоскость, в которой осуществляется вывод результатов расчета.

Расчетная трехмерная область разбивалась на 43 ячейки по каждому направлению. Размер ячейки составлял $0,05 \text{ м} = 5 \text{ см}$. Ребро куба имело размер 2,15 см.

При проведении расчета было задано, что в верхних ячейках куба (ячейки с номерами 15...29 по направлениям X и Y и с номерами 29...43 по направлению Z) находится газ.

На рис. 14 приведены начальные условия расчетной задачи в плоскости, изображенной на рис. 13. Там же указаны точки вывода временных зависимостей концентраций. Точки вывода временной зависимости концентрации находились в ячейках $X = 22, 22, 22$; $Y = 22, 22, 22$; $Z = 1, 3, 5$.

На рис. 15 приведены результаты численного расчета уравнения (1), описывающего временную зависимость концентрации в трех точках экспериментальной камеры. Вывод временных зависимостей концентрации производился в ячейках $X = 22, 22, 22$; $Y = 22, 22, 22$; $Z = 1, 3, 5$. Коэффициент турбулентной диффузии принят равным $D = 0,005 \text{ м}^2/\text{с}$. В расчетах за единицу времени принята величина $t_0 = L^2/D = 231,0 \text{ с}$, где $L = 1,075 \text{ м}$.

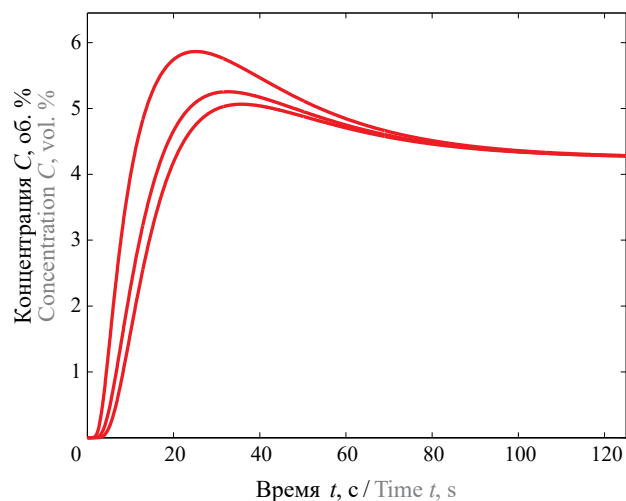


Рис. 11. Временные зависимости концентрации в трех точках экспериментальной камеры

Fig. 11. Time dependences of concentration at three points of the experimental chamber

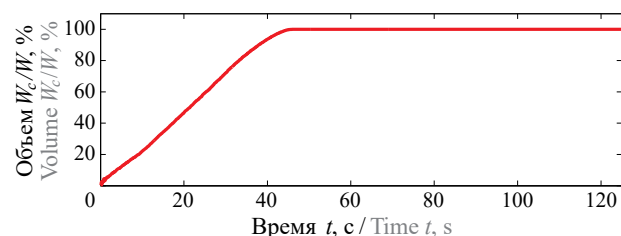


Рис. 12. Временные зависимости, описывающие процесс формирования в экспериментальной камере взрывоопасной смеси

Fig. 12. Time dependences describing the process of explosive mixture formation in the experimental chamber

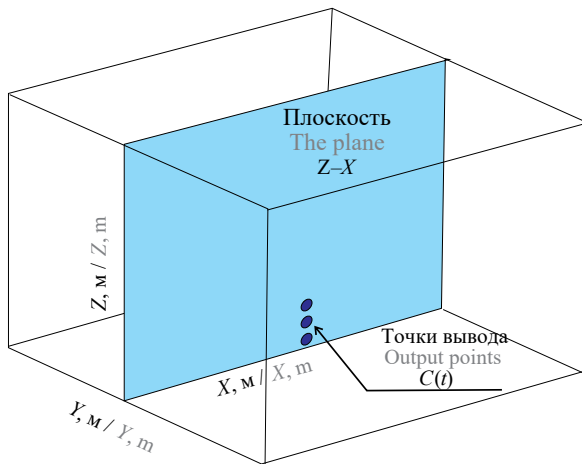


Рис. 13. Схема расчетной области
Fig. 13. Schematic of the design area

На рис. 16 приведены временные зависимости, описывающие процесс формирования взрывоопасной смеси в камере. На рис. 16 приведено отношение (в процентах) объема взрывоопасной смеси, т.е. смеси с концентрацией от 2 до 8 об. %, к общему объему камеры.

Из приведенного рисунка видно, что взрывоопасная смесь формируется через 100 с после начала подачи газа в камеру, но ее равномерность по пространству (см. рис. 15) достигается только через 400–500 с или через 7–8 мин.

При меньшем времени выдержки качество смеси по пространству камеры может значительно отличаться от опыта к опыту, что обусловлено несколькими факторами. Во-первых, различием в объеме газа, подаваемого в камеру, который зависит от температуры окружающей среды. Во-вторых, коэффициентом турбулентной диффузии, от которого

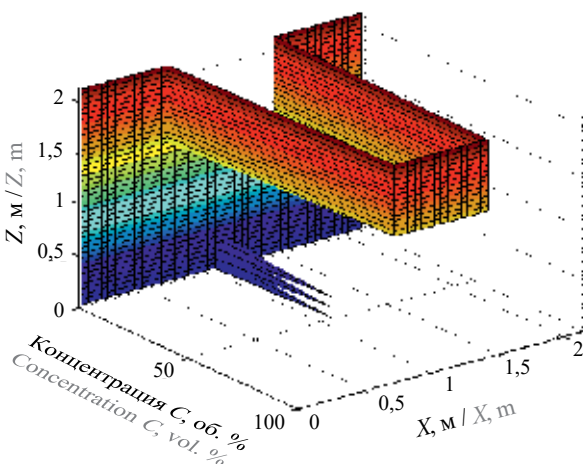


Рис. 14. Начальное состояние системы, принятое в расчетах при заполнении газом камеры в верхней ее части
Fig. 14. Initial state of the system assumed in calculations when the chamber is filled with gas in its upper part

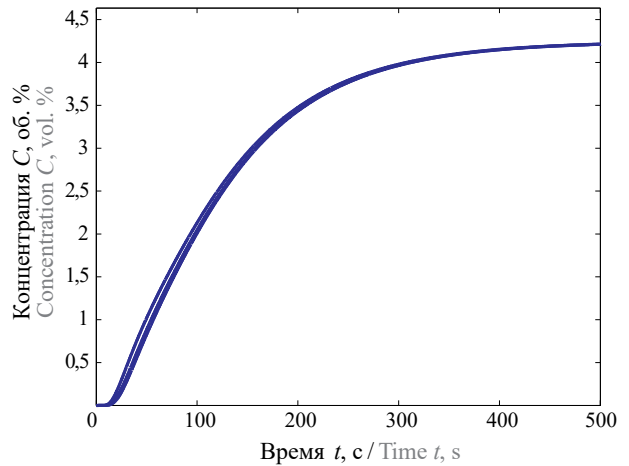


Рис. 15. Временные зависимости концентрации в трех точках экспериментальной камеры при ее заполнении в верхней части
Fig. 15. Time dependences of the concentration at three points of the experimental chamber when it is filled in the upper part

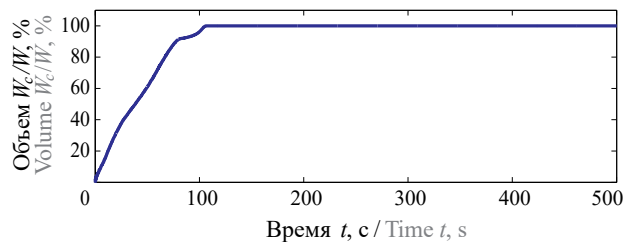


Рис. 16. Временные зависимости, описывающие процесс формирования взрывоопасной смеси при заполнении камеры в верхней части
Fig. 16. Time dependencies describing the process of explosive mixture formation when the chamber is filled in the upper part

зависит процесс формирования смеси и который меняется в широком диапазоне.

В-третьих, наличием вентилятора, используемого для смешения газа с воздухом и создающего значительные пульсационные скорости в смеси, что приводит к значительному изменению видимой скорости пламени. Например, наличие пульсаций скорости в 1 м/с приводит к увеличению скорости горения смеси в два раза, а взрывного давления в четыре раза.

Для лучшего понимания процесса формирования смеси в камере при ее заполнении в верхней части на рис. 17 приведены изолинии равной концентрации газа для двух моментов времени: через 5,0 и 10,0 с после выброса. На рис. 17 указаны точки вывода временных зависимостей концентрации, приведенных на рис. 15.

Расчеты показывают, что процесс смешения газа с воздухом значительно замедляется с течением времени. Поэтому смесь может быть взрывоопасной, но плохого качества. Об этом говорят и данные, приведенные на рис. 16, которые иллюстрируют процесс формирования взрывоопасной смеси в камере.

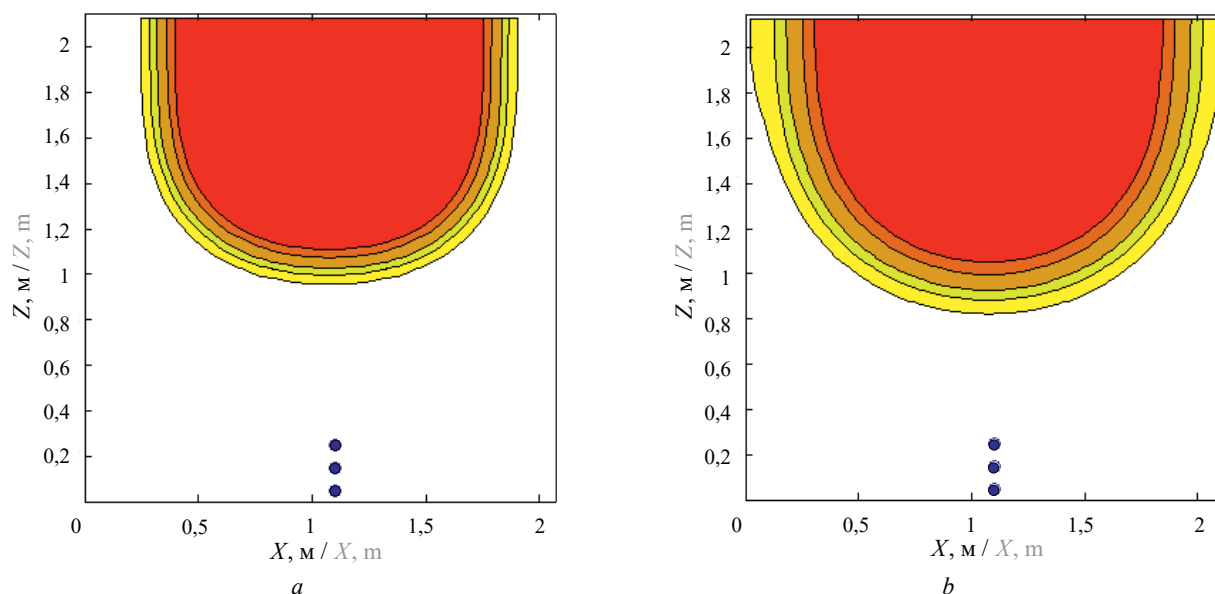


Рис. 17. Изолинии равных концентраций газа в экспериментальной камере при ее заполнении в верхней части: *a* — через 5,0 с; *b* — через 10,0 с после выброса. Внешняя изолиния — 2 %, далее — 3, 4, 6 и 8 об. %

Fig. 17. Isolines of equal gas concentrations in the experimental chamber when it is filled in the upper part: *a* — 5.0 seconds; *b* — 10.0 seconds after ejection. External isolation — 2 %, then — 3, 4, 6 and 8 vol. %

Анализ данных, приведенных на рис. 16, и данных рис. 15 показывает, что, например, на 100-й с во всей камере сформировалась взрывоопасная смесь (см. рис. 16), но при этом в нижних точках камеры концентрация смеси находится на нижнем концентрационном пределе и составляет всего 2 об. % (см. рис. 15). Другими словами, пространственное качество взрывоопасной смеси в камере на 100-й с достаточно плохое и оставляет желать лучшего. И только на 500-й с происходит выравнивание смеси по всему пространству камеры (см. рис. 15), т.е. смесь становится стехиометрической по всей камере.

На рис. 18 приведены фотографии взрыва смеси, сформированной указанным выше способом. Приведенные мгновенные фотографии дефлаграционного взрыва показывают, что за счет диффузии сформирована достаточно однородная смесь. На это указывает сферическая форма пламени. При

наличии неоднородности смеси фронт пламени принимает форму, которая значительно отличается от сферы, что связано с зависимостью скорости пламени от качества смеси.

Диффузия, приводящая к формированию взрывоопасной смеси, играет существенную роль не только при проведении экспериментальных исследований, но и при развитии взрывных аварий. В частности, на это указывается в публикациях [16–18]. Кроме этого, на сценарий развития аварии оказывают существенное влияние и другие факторы, например, начальная турбулизация смеси, которая вызвана струйным истечением газа из аварийного отверстия, или перемещение людей в аварийной квартире. На первую причину указывают публикации [19–21], а вторая указанная выше причина достаточно часто встречалась авторам данной статьи при расследовании аварийных ситуаций [1, 14].



Рис. 18. Мгновенные фотографии фронта пламени однородной смеси, сформировавшейся за счет диффузии

Fig. 18. Instantaneous photographs of the flame front of a homogeneous mixture formed by diffusion

Выводы

Показано, что для подготовки качественной газозвдушной смеси не следует использовать вентиляторы и что с данной проблемой хорошо справляется естественная турбулентная диффузия газов.

Расчетным путем получены минимальные интервалы времени, которые необходимы для формирования в кубической камере произвольного размера качественной газозвдушной смеси.

Использование при экспериментальных исследованиях естественной диффузии вместо вентиляторов, перемешивающих смесь, значительно сокращает время проведения экспериментов и значительно повышает точность и повторяемость опытов.

Для подготовки качественной (хорошо перемешанной) газозвдушной смеси исследователи, проводящие экспериментальные работы по изучению дефлаграционных внутренних взрывов, часто используют вентиляторы, которые не только перемешивают смесь, но и создают потоки со значительными пульсационными составляющими, затухание которых

(особенно для больших объемов испытательных камер) требует значительного времени и плохо поддается контролю со стороны испытателей. Это часто приводит к значительным погрешностям и плохой повторяемости экспериментов.

В настоящей статье показано, что для подготовки качественной газозвдушной смеси не нужно использовать вентиляторы и что с данной проблемой достаточно хорошо справляется естественная диффузия газов.

Для подтверждения данного утверждения в статье приводятся результаты расчетов по программам, достоверность вычислений которых проверена на результатах тестовых расчетов задач, имеющих аналитические решения.

Кроме этого, в статье приводятся фотографии взрыва смеси, сформированной за счет диффузии. Приведенные в статье мгновенные фотографии дефлаграционного взрыва показывают, что за счет диффузии сформирована достаточно однородная смесь, на что указывает сферичность фронта пламени.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Громов Н.В. Совершенствование технической системы обеспечения взрывоустойчивости зданий при взрывах газопаровоздушных смесей : дис. ... канд. техн. наук. М. : МГСУ, 2007. 134 с.
2. Шлег А.М. Определение параметров легкобрасываемых конструкций : дис. ... канд. техн. наук. М. : МГСУ, 2002. 201 с.
3. Казеннов В.В. Динамические процессы дефлаграционного горения во взрывоопасных зданиях и помещениях : дис. ... д-ра техн. наук. М. : МГСУ, 1997. 445 с.
4. Азамов Ж.М. Общие принципы проведения экспериментальных исследований внутренних дефлаграционных взрывов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2023. № 4. С. 79–86. DOI: 10.25257/FE.2023.4.79-86
5. Shamsadin Saeid M.H., Khadem J., Emami S., Ghodrat M. Effect of diffusion time on the mechanism of deflagration to detonation transition in an inhomogeneous mixture of hydrogen-air // International Journal of Hydrogen Energy. 2022. Vol. 47 (55). Pp. 23411–23426. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.05.116
6. Комаров А.А., Тимохин В.В. Экспериментальное исследование и моделирование процесса формирования взрывоопасных концентраций // Безопасность труда в промышленности. 2023. № 1. С. 84–88. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-1-84-88
7. Бузаев Е.В., Загуменников Р.А. Косвенный метод определения коэффициента турбулентной диффузии при формировании взрывоопасных облаков // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : сб. мат. III Междунар. науч.-практ. конф., в 2 ч. Ч. 1. М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. С. 133–135.
8. Тимохин В.В. Особенности физической картины развития аварийных взрывов в изолированных помещениях // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2022. № 2. С. 60–66. DOI: 10.25257/FE.2022.2.60-66
9. Комаров А.А., Васюков Г.В., Загуменников Р.А., Бузаев Е.В. Экспериментальное исследование и численное моделирование процесса образования взрывоопасной метановоздушной смеси в помещениях // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2015. № 24 (4). С. 30–38. EDN TVFFRH.
10. Загуменников Р.А. Параметры формирования взрывоопасных метановоздушных смесей в производственных помещениях : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. : Акад. гос. противопожарной службы МЧС России, 2016. 24 с.
11. Chengjun Yue, Li Chen, Zhan Li, Yuanchao Mao, Xiaohu Yao. Experimental study on gas explosions of methane-air mixtures in a full-scale residence building // Fuel. 2023. Vol. 353. P. 129166. DOI: 10.1016/j.fuel.2023.129166
12. Бузаев Е.В. Разработка методов прогнозирования параметров взрывоопасных зон при аварийных выбросах горючих веществ : дис. ... канд. техн. наук. М. : МГСУ, 2015. 124 с.
13. Komarov A., Korolchenko D., Gromov N., Korolchenko A., Jafari M., Gravit M. Specific Aspects of Modeling Gas Mixture Explosions in the Atmosphere // Fire. 2023. Vol. 6. No. 5. P. 201. DOI: 10.3390/fire6050201

14. Комаров А.А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения : дис. ... д-ра техн. наук. М. : МГСУ, 2001. 460 с.
15. Комаров А.А., Корольченко Д.А., Громов Н.В. Экспериментальное определение эффективности остекления при аварийных взрывах внутри зданий // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2022. № 31 (6). С. 78–90. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.06.78-90
16. Zihao Xiu, Zhenyi Liu, Pengliang Li, Mingzhi Li, Jianbo Ma, Tao Fan *et al.* Research on the dynamics of flame propagation and overpressure evolution in full-scale residential gas deflagration // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2024. No. 62 (1). P. 105204. DOI: 10.1016/j.csite.2024.105204
17. Поландов Ю.Х., Корольченко Д.А., Евич А.А. Условия возникновения пожара в помещении при газовом взрыве. Экспериментальные данные // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2020. Т. 29. № 1. С. 9–21. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.01.9-21. EDN CLTXKY.
18. Xu Ying, Yimiao Huang, Guowei Ma. A review on effects of different factors on gas explosions in underground structures // *Underground Space*. 2019. No. 5 (4). Pp. 298–314. DOI: 10.1016/j.undsp.2019.05.002
19. Cen K., Kang, Bin Song, Ruiqing Shen, Yidong Zhang, Wuge Yu, Qingsheng Wang. Dynamic Characteristics of Gas Explosion and Its Mitigation Measures inside Residential Buildings // *Mathematical Problems in Engineering*. 2019. No. 5. Pp. 1–15. DOI: 10.1155/2019/2068958
20. Bao Q., Fang Q., Zhang Y., Chen L., Yang S., Li Z. Effects of gas concentration and venting pressure on overpressure transients during vented explosion of methane-air mixtures // *Fuel*. 2016. Vol. 175. Pp. 40–48. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.01.084
21. Korolchenko D., Polandov Iu.K., Evich A. Dynamic effects at internal deflagration explosions // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 603. P. 052008. DOI: 10.1088/1757-899X/603/5/052008

REFERENCES

1. Gromov N.V. *Improving the technical system for ensuring the explosion resistance of buildings during explosions of gas-steam-air mixtures : dissertation for the degree of candidate of technical sciences*. Moscow, MGSU, 2007; 134. (rus).
2. Schleg A.M. *Determination of the parameters of easily removable structures : dissertation for the degree of candidate of technical sciences*. Moscow, MGSU, 2002; 201. (rus).
3. Kazennov V.V. *Dynamic processes of deflagration combustion in explosive buildings and rooms : dissertation for the degree of doctor of technical sciences*. Moscow, MGSU, 1997; 445. (rus).
4. Azamov J.M. General principles for conducting experimental studies of internal deflagration explosions. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2023; 4:79-86. DOI: 10.25257/FE.2023.4.79-86 (rus).
5. Shamsadin Saeid M.H., Khadem J., Emami S., Ghodrat M. Effect of diffusion time on the mechanism of deflagration to detonation transition in an inhomogeneous mixture of hydrogen-air. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022; 47(55):23411-23426. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.05.116
6. Komarov A.A., Timokhin V.V. Experimental investigation and modeling of the formation of explosive concentrations. *Occupational Safety in Industry*. 2023; 1:84-88. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-1-84-88 (rus).
7. Buzaev E.V., Zagumennikov R.A. An indirect method for determining the coefficient of turbulent diffusion in the formation of explosive clouds. *Firefighting: problems, technologies, innovations : collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference, at 2 p.m. Part 1*. Moscow, Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2014; 133-135. (rus).
8. Timokhin V.V. Peculiarities of the physical picture of the crash explosions development in isolated rooms. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2022; 2:60-66. DOI: 10.25257/FE.2022.2.60-66 (rus).
9. Komarov A.A., Vasyukov G.V., Zagumennikov R.A., Buzaev E.V. Experimental study and numerical simulation of methane-air mixture formation process in premises. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2015; 24(4):30-38. EDN TVFFRH. (rus).
10. Zagumennikov R.A. *Parameters of formation of explosive methane-air mixtures in industrial premises : abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences*. Moscow, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2016; 24. (rus).
11. Chengjun Yue, Li Chen, Zhan Li, Yuanhao Mao, Xiaohu Yao. Experimental study on gas explosions of methane-air mixtures in a full-scale residence building. *Fuel*. 2023; 353:129166. DOI: 10.1016/j.fuel.2023.129166
12. Buzaev E.V. *Development of methods for predicting the parameters of explosive zones in case of accidental releases of combustible substances : dissertation for the degree of candidate of technical sciences*. Moscow, MGSU, 2015; 124. (rus).
13. Komarov A., Korolchenko D., Gromov N., Korolchenko A., Jafari M., Gravit M. Specific Aspects of Modeling Gas Mixture Explosions in the Atmosphere. *Fire*. 2023; 6(5):201. DOI: 10.3390/fire6050201
14. Komarov A.A. *Forecasting loads and estimating consequences of their impact on buildings and structures : dissertation for the degree of doctor of technical sciences*. Moscow, MGSU, 2001; 460. (rus).
15. Komarov A.A., Korolchenko D.A., Gromov N.V. Experimental determination of glazing efficiency in case of indoor explosions caused by accidents. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(6):78-90. DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.06.78-90 (rus).

16. Zihao Xiu, Zhenyi Liu, Pengliang Li, Mingzhi Li, Jianbo Ma, Tao Fan et al. Research on the dynamics of flame propagation and overpressure evolution in full-scale residential gas deflagration. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2024; 62(1):105204. DOI: 10.1016/j.csite.2024.105204
17. Polandov Yu.K., Korolchenko D.A., Evich A.A. Conditions of occurrence of fire in the room with a gas explosion. Experimental data. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(1):9-21. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.01.9-21. EDN CLTXYK. (rus).
18. Xu Ying, Yimiao Huang, Guowei Ma. A review on effects of different factors on gas explosions in underground structures. *Underground Space*. 2019; 5(4):298-314. DOI: 10.1016/j.undsp.2019.05.002
19. Cen K., Kang, Bin Song, Ruiqing Shen, Yidong Zhang, Wuge Yu, Qingsheng Wang. Dynamic Characteristics of Gas Explosion and Its Mitigation Measures inside Residential Buildings. *Mathematical Problems in Engineering*. 2019; 5:1-15. DOI: 10.1155/2019/2068958
20. Bao Q., Fang Q., Zhang Y., Chen L., Yang S., Li Z. Effects of gas concentration and venting pressure on overpressure transients during vented explosion of methane-air mixtures. *Fuel*. 2016; 175:40-48. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.01.084
21. Korolchenko D., Polandov Iu.K., Evich A. Dynamic effects at internal deflagration explosions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 603:052008. DOI: 10.1088/1757-899X/603/5/052008

Поступила 26.02.2025, после доработки 21.03.2025;

принята к публикации 28.03.2025

Received February 26, 2025; Received in revised form March 21, 2025;

Accepted March 28, 2025

Информация об авторах

КОМАРОВ Александр Андреевич, д.т.н., профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, руководитель НИЦ «Взрывобезопасность» ИКБС, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; РИНЦ ID: 155673; Scopus AuthorID: 57192380312; ResearcherID: AAC-8725-2022; ORCID: 0000-0003-2764-639X; e-mail: KomarovAA@mgsu.ru

ГРОМОВ Николай Викторович, к.т.н., заведующий лабораторией газодинамики и взрыва НИЦ «Взрывобезопасность» ИКБС, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; РИНЦ ID: 550242; Scopus AuthorID: 57192376754; ResearcherID: AAO-5120-2021; ORCID: 0000-0002-9685-0880; e-mail: N.Gromov@ikbs-mgsu.ru

РЯДЧЕНКО Леонид Валентинович, студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; ORCID: 0009-0002-8651-6624; e-mail: l.ryadchenko@ikbs-mgsu.ru

Вклад авторов:

Комаров А.А. — идея; научное руководство; выбор методов исследования; написание исходного текста статьи; итоговые выводы.

Громов Н.В. — сбор материала; обработка результатов; доработка текста; научное редактирование статьи.

Рядченко Л.В. — оформление результатов расчетов; построение графиков; оформление статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Alexander A. KOMAROV, Dr. Sci. (Eng.), Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Head of the Explosion Safety Research Center of Institute of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl'skoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 155673; Scopus AuthorID: 57192380312; ResearcherID: AAC-8725-2022; ORCID: 0000-0003-2764-639X; e-mail: KomarovAA@mgsu.ru

Nikolay V. GROMOV, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory of Gas Dynamics and Explosion of the Explosion Safety Research Center of Institute of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl'skoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 550242; Scopus AuthorID: 57192376754; ResearcherID: AAO-5120-2021; ORCID: 0000-0002-9685-0880; e-mail: N.Gromov@ikbs-mgsu.ru

Leonid V. RYADCHENKO, Student, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl'skoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0009-0002-8651-6624; e-mail: l.ryadchenko@ikbs-mgsu.ru

Contribution of the authors:

Komarov A.A. — idea; scientific guidance; selection of research methods; writing the original text of the article; final conclusions.

Gromov N.V. — collection of material; processing of results; follow on revision of the text; scientific editing of the article.

Ryadchenko L.V. — design of calculation results; plotting, design of the article.

The authors declare no conflicts of interests.

Обеспечение пожарной безопасности жидкого аммиака при хранении и транспортировке в промышленных масштабах

Леонид Петрович Вогман ✉, Иван Ардашевич Болодьян, Евгений Николаевич Простов

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 связи с решением задач в области водородной безопасности в качестве приоритетных способов крупнотоннажной транспортировки водорода рассматривается транспортировка трубопроводным транспортом, различными видами транспорта в сжиженном или компримированном состоянии носителей водорода в виде аммиака или жидких органических носителей. Носителями могут служить также гидриды металлов, наноструктуры и другие богатые водородом соединения. В качестве наиболее эффективных и водородоемких носителей водорода рассматривается аммиак.

Цель. Обеспечение пожарной безопасности при хранении и транспортировке жидкого аммиака.

Задачи. Анализ промышленных средств и способов хранения и транспортировки жидкого аммиака, разработка мероприятий по локализации крупных аварий, тушению пожаров, вызванных выбросами паров аммиака и его проливов в виде криогенной жидкости.

Аналитическая часть. При выбросе аммиака из оборудования под давлением образующаяся смесь продукта с воздухом может изменяться по плотности от образования газозвушных облаков ниже плотности воздуха до плавучести и превышения плотности воздуха в зависимости от условий выброса: давление и температура в оборудовании; размеры отверстия, через которое поступает аммиак в окружающее пространство; расположение отверстия в оборудовании. При утечке жидкого аммиака образуются проливы, с поверхности которых продукт испаряется благодаря градиенту температур, когда он высок, особенно бурно в первые моменты после пролива. Расчетные и опытные данные свидетельствуют, что при проливах жидкого аммиака наиболее опасной является зона радиусом вокруг источника до нескольких сотен метров. На испарение расходуется тепло верхнего слоя почвы (подстилающей поверхности) и окружающего воздуха, причем в большей степени в начальный период это зависит от природы подстилающей поверхности.

Заключение. Локализация и ликвидация выбросов под давлением и проливов аммиака могут быть достигнуты благодаря применению следующих способов: ускорения испарения воздушными струями; уменьшения поверхности испарения аммиака с использованием прямиков, поддонов, сливов в аварийные емкости; растворения в воде и применения водяных завес; нанесения водно-пенных составов для полярных жидкостей, устойчивых к разрушению.

Ключевые слова: аммиак; хранение; транспортирование; предотвращение проливов; тушение

Для цитирования: Вогман Л.П., Болодьян И.А., Простов Е.Н. Обеспечение пожарной безопасности жидкого аммиака при хранении и транспортировке в промышленных масштабах // Пожаровзрывобезопасность/ Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 2. С. 32–41. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.32-41

✉ Вогман Леонид Петрович, e-mail: vogmanleo@ya.ru

Ensuring fire safety of liquid ammonia during storage and transportation on an industrial scale

Leonid P. Vogman ✉, Ivan A. Bolodian, Evgeny N. Prostop

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. In connection with the solution of problems in the field of hydrogen safety as priority methods of large-tonnage hydrogen transportation is considered the transportation of hydrogen carriers in the form of ammonia or liquid organic carriers by pipelines, various types of transport in liquefied or compressed state.

Metal hydrides, nanostructures and other hydrogen-rich compounds can also serve as carriers. Ammonia is considered as the most efficient and hydrogen-intensive hydrogen carriers.

Aim. To ensure fire safety during storage and transport of liquid ammonia.

Objectives. Analysis of industrial means and methods of storage and transportation of liquid ammonia, development of measures for localization of large accidents, extinguishing of fires caused by ammonia vapour emissions and its spills in the form of cryogenic liquid.

Analytical part. When ammonia is released from pressurized equipment, the resulting mixture of product with air may vary in density from the formation of gas-air clouds below air density to buoyancy and exceeding air density depending on the conditions of release: pressure and temperature in the equipment; size of the hole through which ammonia enters the surrounding space; location of the hole in the equipment. Liquid ammonia leaks produce spills from the surface of which the product evaporates due to the temperature gradient when it is high, especially violently in the first moments after the spill. Calculations and experience show that the most dangerous area for liquid ammonia spills is a radius around the source of up to several hundred metres. Heat from the upper layer of soil (underlying surface) and the surrounding air is used for evaporation, and to a greater extent in the initial period this depends on the nature of the underlying surface.

Conclusions. Localization and elimination of pressure emissions and ammonia spills can be achieved through application of the following methods: acceleration of evaporation by air jets; reduction of ammonia evaporation surface using pits, pallets, drains into emergency tanks; dissolution in water and application of water curtains; application of water-foam compositions for polar liquids resistant to destruction.

Keywords: ammonia; storage; transportation; spill prevention; extinguishing

For citation: Vogman L.P., Bolodian I.A., Prostov E.N. Ensuring fire safety of liquid ammonia during storage and transportation on an industrial scale. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(2): 32-41. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.32-41 (rus).

✉ Leonid Petrovich Vogman, e-mail: vogmanleo@ya.ru

Введение

Аммиак используется как химическое вещество с высокой реакционной способностью во многих отраслях народного хозяйства. В настоящее время во многих странах мира активно ведутся работы по развитию безуглеродной энергетики по замене углеводородных топлив на водород, что связано с необходимостью снижения антропогенного воздействия на климат [1–3]. В связи с решением задач в области водородной безопасности в качестве приоритетных способов крупнотоннажной транспортировки водорода рассматривается транспортировка трубопроводным транспортом, различными видами транспорта в сжиженном или компримированном состоянии носителей водорода в виде аммиака или жидких органических носителей [4–6]. Носителями могут служить также гидриды металлов, наноструктуры и другие богатые водородом соединения.

В качестве наиболее эффективных и водородо-емких носителей водорода рассматривается аммиак. Из него водород получают посредством химических реакций. Так, при нормальной температуре аммиак сжижается при давлении 1,0 МПа. Его можно транспортировать по трубам, железнодорожным, автомобильным, водным транспортом и хранить в жидком виде [7–9]. Водород из аммиака получают посредством его каталитического разложения при температуре 526–627 К и атмосферном давлении [10].

В работах [11–14] были изложены сведения об особенностях физико-химических и пожаровзрывоопасных свойств аммиака, статистические дан-

ные о пожарах и взрывах на объектах защиты, в которых используется аммиак. Опасность применения аммиака в промышленности обусловлена не только его токсическими свойствами, но и высокой пожаровзрывоопасностью вещества. Анализ приведенных в [11] сведений о физико-химических и пожаровзрывоопасных свойствах аммиака свидетельствует, что к особенностям его можно отнести весьма высокие значения минимальной энергии зажигания (МЭЗ), равной 680 МДж (для сравнения: МЭЗ водорода в воздухе составляет 0,02 МДж, метана в воздухе 0,3 МДж), и нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР), равного 15,7 % (об.) [15]. Высокое значение НКПР объясняется, в частности, низкой величиной теплоты сгорания. Такое значение НКПР существенно выше предельно допустимой концентрации (ПДК), равной 20 мг/м³. Минимальное взрывоопасное содержание кислорода (МВСК) равно 16,2 % (об.). К особенностям аммиака следует также отнести сравнительно низкие значения нормальной скорости распространения пламени (0,23 м·с⁻¹ при температуре 150 °С [11], а по данным из источника [7] — 0,07 м·с⁻¹), а теплота сгорания в несколько раз ниже, чем при сгорании природного газа, тротильный эквивалент составляет 4,1 [12]. Можно отметить, что он намного ниже, чем для водорода или углеводородов. Благодаря этим обстоятельствам при сгорании аммиачно-воздушного облака в открытом пространстве ударные волны не образуются. Это позволяет наружные установки, в которых обращается аммиак, не относить к взрывоопасным, и, следовательно, категория

по взрывопожарной и пожарной опасности таких наружных установок ниже «АН» в соответствии с СП¹. Вместе с тем в замкнутом пространстве горение аммиака в диапазоне от 15,7 до 29,8 % (об.) [15] протекает интенсивнее, происходит быстрое, но плавное нарастание давления продуктов горения [12]. Скорость нарастания давления при стационарном горении стехиометрической смеси аммиак – воздух в замкнутом объеме также мала: $6 \cdot 10^3$ кПа с⁻¹ при нормальных условиях. Однако при этом давление взрыва равно 588 кПа. Поэтому последствия взрыва в помещении представляют опасность для людей, оборудования и строительных конструкций. Об этом свидетельствует и значение удельного тротилового эквивалента. В работе [12] выполнены расчеты и показано, что по эмпирической формуле при оценке расстояний от эпицентра взрыва аммиака до заданного места могут быть установлены уровни последствий разрушений зданий (полное, среднее, малое, умеренное повреждение).

Большой интерес с учетом цели настоящих исследований вызывает работа². В ней представлены методика и алгоритм расчета концентраций аммиака в воздухе и распространения газового облака при авариях на складах жидкого аммиака. Рассмотрен пример аварии емкости (30 т) со сжиженным аммиаком, расположенной в местности с ровным ландшафтом. Выполнены расчеты по определению концентрации аммиака в шлейфе облака, а также длины зоны химического заражения, где возможно смертельное поражение людей на открытой местности. На основании расчета определены поле концентрации и токсидоза на этапе аварии, связанной с испарением пролитого аммиака. По значению смертельной токсидозы для аммиака, равной 150 мг мин/л, получена величина протяженности зоны смертельного поражения, равная 180 м, а по значению пороговой токсидозы 15 мг мин/л — величина протяженности зоны порогового поражения, которая составила 740 м.

С целью обеспечения пожарной безопасности при хранении и транспортировке жидкого аммиака были поставлены следующие **задачи исследования**: провести анализ условий и способов хранения, транспортировки жидкого аммиака, разработать мероприятия по локализации крупных аварий, тушению пожаров, вызванных выбросами паров аммиака и его проливов в виде криогенной жидкости.

¹ СП 12.13130.2009. Определение помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

² Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах. Ростехнадзор России. ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности». Сборник документов. Серия 27. Декларирование промышленной безопасности и оценка риска. Выпуск 2. 2001. 219 с.

1. Аналитическая часть

Особенности хранения и транспортировки аммиака в промышленных масштабах

1.1. Хранение аммиака

Жидкий аммиак хранят в резервуарах (хранилищах) под избыточным давлением, близким к атмосферному (0,01 МПа), под давлением 1,0 и 2,0 МПа. Для хранения жидкого аммиака под давлением при температуре окружающей среды применяют резервуары с двойными равнопрочными стенками, преимуществами которых являются защита от внешних воздействий, благоприятные возможности проведения ремонтных и регламентных работ, предотвращение проливов жидкого аммиака [16, 17].

Чаще всего жидкий аммиак хранят под избыточным давлением 0,002–0,008 МПа в вертикальных резервуарах с теплоизоляцией при температуре около минус 33 °С. Для поддержания заданного рабочего давления аммиак, испарившийся под действием притока тепла, отводят потребителям или конденсируют и возвращают в резервуар. Такой способ хранения аммиака называют изотермическим.

Изотермическое хранение жидкого аммиака характеризуется узким интервалом давлений, для поддержания которого отводят тепло, поступающее в резервуар от окружающего воздуха и с жидким аммиаком. При этом используют вертикальные цилиндрические резервуары вместимостью от 10 (одностенные и двустенные) до 30 (одностенные) тысяч тонн с коэффициентом заполнения не более 0,93. Наибольшее распространение получили цельнометаллические двустенные изотермические резервуары с теплоизоляцией в пространстве между стенками из матов стекловолокна в обкладке из стеклоткани и капроновой сетки. Между днищами внутреннего и наружного резервуара теплоизоляцию изготавливают из материалов высокой механической прочности: блоки из перлитобетона или пеностекла. Преимуществами таких резервуаров являются защита от внешних воздействий, благоприятные возможности проведения ремонтных и регламентных работ, исключение проливов жидкого аммиака. Резервуары оборудованы системами сигнализации и блокировки по давлению, температуре и уровню жидкого аммиака, предохранительными и дыхательными клапанами, люками, штуцерами и наружной лестницей. Жидкий аммиак из предохранительных клапанов оборудования и трубопроводов сбрасывают в резервуар, а газообразный сжигают на факельной установке.

Факельная установка обеспечивает стабильное сжигание сбросов газообразного аммиака, а также безопасную плотность теплового потока и предотвращение попадания воздуха внутрь факела через верхний срез факельного ствола. Для более полного

сгорания аммиака в факел подают пропан-бутановую смесь или природный газ, а для предотвращения подсоса воздуха — инертный газ. Горючая смесь воспламеняется запальным устройством, а также дежурными горелками с запальниками, которые располагают на факельном оголовке.

При хранении аммиака особое внимание следует уделить ситуациям, которые могут привести к авариям резервуаров с этим продуктом.

Изменение температуры воздуха и атмосферного давления влияет на интенсивность испарения жидкого аммиака.

При температуре воздуха ниже минус 34 °С для поддержания избыточного давления в изотермическом резервуаре 0,0015–0,002 МПа (150–200 мм вод. ст.) могут потребоваться дополнительные затраты тепла. При падении температуры воздуха ниже равновесного значения в резервуаре может образоваться вакуум. Для его предотвращения в изотермических резервуарах в этих условиях должно быть повышено давление за счет подогрева продукта с последующей рециркуляцией теплой жидкости в объеме хранилища или благодаря подогреву его оснований.

При откачке жидкого аммиака давление газообразного продукта не должно быть ниже предельного давления, установленного технологическим регламентом. Продукт из опорожняемого резервуара с температурой минус 33 °С перекачивают в рабочий резервуар. При этом его можно подогревать в подогревателе до 10 °С и подавать для раздачи в другие емкости.

После опорожнения резервуара закрывают вентили на трубопроводах всех источников поступления жидкого аммиака и задвижки на трубопроводе выдачи газообразного аммиака, принимают меры к удалению аммиака, скопившегося в неровностях днища хранилища.

1.2. Транспортирование аммиака

Магистральные аммиакопроводы до 355 мм диаметром прокладывают под землей на глубине 1,4 м до верха трубы и 0,5–1,4 м на переходах через водные препятствия. Для подводных и мостовых переходов используют конструкцию «труба в трубе», в которой наружный трубопровод (кожух) выполняет функции резервной оболочки, препятствующей утечке аммиака в окружающую среду при ее повреждении. В межтрубных участках установлены газоанализаторы для определения содержания аммиака. При его обнаружении сигнал подается на пульт управления. Наружные поверхности рабочего трубопровода и кожуха покрывают изоляционным материалом. Для предотвращения коррозии внутренней поверхности кожуха межтрубное пространство заполняют инертным газом (азотом).

Основные опасности при эксплуатации магистральных аммиакопроводов сопряжены с возможными утечками продукта через сальниковые компенсаторы (кольцевая щель, заполненная синтетическим солидолом — запирающей жидкостью), которые препятствуют проникновению газа в атмосферу. Натурные экспериментальные испытания на жидком азоте показали, что при постоянных положительных температурах утечка азота не происходит. Она становится заметной при резких перепадах отрицательных температур. Объясняется это реологическими свойствами жидкости вследствие различной скорости температурной деформации элементов уплотнительных узлов, которые проявляются при отрицательных температурах. Для повышения надежности сальникового компенсатора используется конструкция с автоматическим заполнением запаса запирающей жидкости.

В процессе эксплуатации аммиакопровода могут происходить небольшие утечки продукта вследствие нарушения целостности труб (повреждения снаружи механическим оборудованием, перемещения почвы и другое). Для устранения утечки на образовавшееся отверстие в трубопроводе устанавливают манжету без отключения газопровода.

При больших утечках аммиака место утечки изолируют закрытием клапанов секционирования и отключают насосные станции, расположенные выше аварийного участка. Одновременно осуществляются меры по локализации проливов водно-пенными составами, а газовоздушных облаков — струями распыленной воды.

При транспортировке жидкого аммиака железнодорожным транспортом используют горизонтально расположенные цилиндрические цистерны с эллиптическими днищами вместимостью до ~ 40 т, наружная поверхность которых окрашена в светло-серый цвет, а днища — в зеленый цвет с окаймляющей полосой по кругу белого цвета [18].

При заполнении цистерны предварительно ее промывают водой и подвергают дегазации (например, азотом). Продувочный газ направляют в сторону наветренной стороны, а при возможности — в факельную систему. Новые и бывшие в употреблении цистерны проверяют на герметичность газообразным азотом или аммиаком под давлением 2 МПа. При этом остаточное содержание кислорода в цистерне должно быть не более 3 % (об.).

Цистерны заполняют жидким аммиаком из резервуаров перекачиванием за счет разности давлений между ними, а также перекачиванием насосами. Вытесняемый из цистерны образующийся за счет частичного вскипания газообразный аммиак постоянно отводят, например, конденсацией паров и возвратом в жидкую фазу, или на факельное сжигание.

При применении изотермических хранилищ, работающих под давлением, близким к атмосферному, жидкий аммиак может поступать в цистерну только с помощью насосов. При этом температура жидкого аммиака равна минус 33,4 °С или может быть выше. Заполнение цистерны должно быть прекращено, если масса налитого в цистерну продукта равна ее грузоподъемности, или уровень налива достигнет 83–85 % объема цистерны.

Слив жидкого аммиака из цистерны осуществляется вытеснением его газообразным (при этом остаточное давление газообразного аммиака в цистерне должно быть не менее 0,05 МПа) или перекачиванием насосами.

Если во время заполнения или опорожнения цистерны обнаружена утечка аммиака или возникла аварийная ситуация, налив (слив) прекращают, ликвидируют утечки, принимают меры по предотвращению аварии и ее последствий [19–21].

В случае разгерметизации цистерны при механическом повреждении или при пожаре происходит быстрое испарение жидкого аммиака и снижение давления в ней. Аммиак вскипает, что может сопровождаться резким повышением давления, особенно при плюсовой температуре окружающего воздуха, и взрывом. При обнаружении любых видов повреждения цистерны (трещины в сварных швах, сквозные повреждения обечайки, днищ, других элементов, работающих под давлением) принимаются меры по ограничению проливов и испарению жидкого аммиака, в частности, с помощью водно-пенных составов, по растворению его в воде и орошению распыленной водой парогазовых облаков газообразного продукта. По мере выделения паров воды из цистерны происходит медленное ее охлаждение и снижение давления. Поэтому распылять воду следует вдали от цистерны и места аварии, чтобы не допустить контакта воды с охлаждающейся цистерной во избежание бурного испарения аммиака.

Автомобильный транспорт применяется, как правило, для перевозки и доставки аммиака от прирельсовых и речных (морских) причальных складов непосредственно потребителям. Автомобильные средства оборудуют углекислотным или водно-пенным огнетушителем, заземляющим устройством, бачком с водой емкостью не менее 10 л.

Слив жидкого аммиака из железнодорожной цистерны (или из танкера) в автотранспортную емкость производят за счет разности давлений газовой фазы в емкостях, создаваемой с помощью компрессора.

После окончания слива аммиака из железнодорожной цистерны останавливают компрессор и сбрасывают давление газообразного аммиака (из цистерны до 0,05 МПа, из коммуникаций пол-

ностью) в цистерну (емкость) с водой и закрывают запорную арматуру.

В случае разгерметизации оборудования в пути следования транспортное средство должно быть выведено в сторону от дороги по направлению ветра и приняты меры по устранению утечки газа. Пролиты аммиака разбавляют водой.

Для транспортировки аммиака морским или речным транспортом используют танкеры со сферическими, цилиндрическими и призматическими емкостями, покрытые теплоизоляционным слоем толщиной ~ 100 мм для снижения теплопритока грузоподъемностью от 1000 до 100 000 м³. Перевозка жидкого аммиака может осуществляться под высоким или повышенным давлением, а также в рефрижераторах. Емкости под аммиак должны быть рассчитаны на низкие температуры или высокое давление. В танкере-рефрижераторе температура должна быть не выше минус 43 °С. На практике используют суда полурефрижераторные с размещением на них для поддержания пониженной температуры абсорбционно-холодильных установок при несколько повышенном давлении до 0,9 МПа, а также рефрижераторные.

Для поддержания температуры аммиака на одном уровне отводят пары и подают на установку повторного сжижения, после чего конденсат возвращают в емкость.

Отличительной особенностью транспортных судов, предназначенных для перевозки криогенных жидкостей, является то, что эти жидкости хранятся в емкостях (первичная оболочка), которые вмонтированы в корпус судна (вторичная оболочка). Для заполнения пустот и для продувки емкостей на грузовом судне имеется инертный газ. Он предотвращает образование коррозионных смесей. Основным требованием к инертному газу является низкое содержание кислорода (0,2–0,3 % масс.) и минимальное (не более 200 ч/млн) содержание оксида углерода.

Перед заполнением аммиаком емкости продувают азотом. В первоначальный период погрузки происходит сильное выделение паров по мере охлаждения емкости. Давление в емкостях поддерживают ниже установочного максимального давления предохранительных систем (0,025–0,035 МПа). Емкости загружают продуктом не более 98 % их объема.

Разгрузка аммиака осуществляется с помощью центробежных насосов турбинного или погружного типа. Для предотвращения возникновения разрежения в емкостях, при необходимости, в них вводят пары аммиака.

На борту судов установлена контрольно-измерительная аппаратура (КИПиА) во взрывобезопасном исполнении, которая обеспечивает надлежащий уровень продукта в емкости, надлежащие температуру

и давление. При появлении дыма, при пожаре обеспечивается перекрытие трубопроводов подачи паров и жидкости, осуществляется непрерывный контроль за появлением аммиака в атмосфере корабля и в береговой зоне. Система КИПиА работает в дистанционном режиме управления и позволяет полностью блокировать оборудование в случае аварии или пожара.

2. Локализация выбросов под давлением и проливов из оборудования аммиака, ликвидация аварийных ситуаций и пожаров

При выбросе аммиака из оборудования под давлением образующаяся смесь продукта с воздухом может изменяться по плотности от образования газозвдушных облаков ниже плотности воздуха до плавуности и превышения плотности воздуха в зависимости от условий выброса: давление и температура в оборудовании; размеры отверстия, через которое поступает аммиак в окружающее пространство; расположение отверстия в оборудовании (газовая или жидкая фаза). При этом часть аммиака γ в зависимости от начальной температуры испаряется (рис. 1). Остальное количество аммиака охлаждается до температуры кипения при атмосферном давлении и ниже. Доля первоначально испарившегося при проливе жидкого аммиака примерно в 100 раз меньше, чем в случае его выброса под давлением, и обычно составляет 0,2–0,3 % общего пролива.

При утечке жидкого аммиака образуются проливы, с поверхности которых продукт испаряется благодаря градиенту температур, когда он высок, особенно бурно в первые моменты после пролива. Расчетные и опытные данные свидетельствуют, что при проливах жидкого аммиака наиболее опасной является зона радиусом вокруг источника до нескольких сотен метров. На испарение расходуется тепло верхнего слоя почвы (подстилающей поверхности) и окружающего воздуха, причем в большей степени в начальный период это зависит от природы подстилающей поверхности. Например, по расчетам [22] удельная скорость первоначального режима испарения ($\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$) при разливе в бассейне размерами $91,5 \times 91,5$ м 15 000 тонн аммиака (ско-

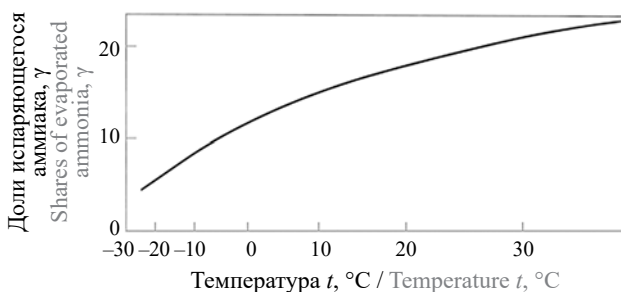


Рис. 1. Зависимость доли первоначально испаряющегося аммиака γ от начальной температуры
Fig. 1. Dependence of the fraction of initially evaporating ammonia γ on the initial temperature

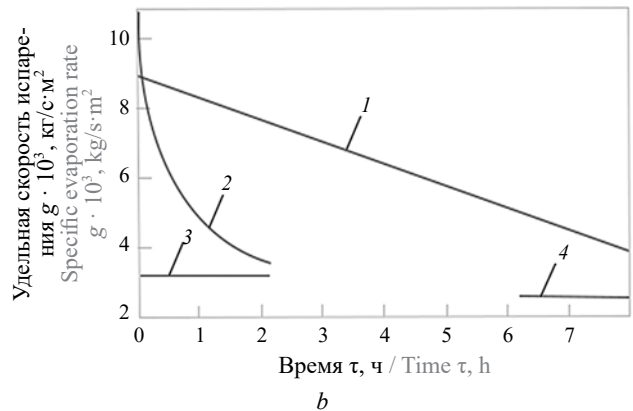
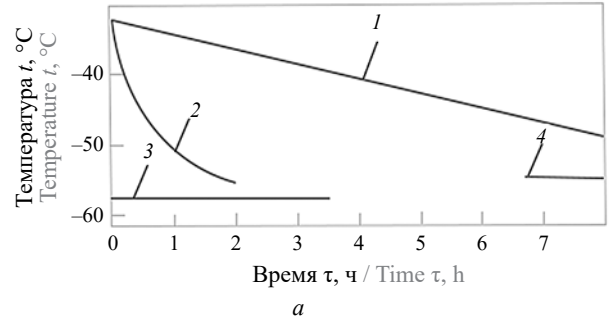


Рис. 2. Зависимость температуры (а) и удельной скорости испарения (б) жидкого аммиака от времени после пролива при температуре окружающего воздуха 27 °С и скорости ветра 6,7 м/с для бассейнов различных размеров: 1 — 61×61 м (10 тыс. т); 2 — $6,1 \times 6,1$ м (10 т); 3 — стационарное состояние испарения $0,1 \times 0,1$ м; 4 — стационарное состояние испарения $6,1 \times 6,1$ м

Fig. 2. Dependence of the temperature (a) and specific evaporation rate (b) of liquid ammonia on the time after the spill at an ambient temperature of 27 °C and a wind speed of 6.7 m/s for pools of various sizes: 1 — 61×61 m (10 thousand tons); 2 — 6.1×6.1 m (10 tons); 3 — stationary evaporation state 0.1×0.1 m; 4 — stationary evaporation state 6.1×6.1 m

рость ветра 1,8 м/с, температура поверхности почвы 21 °С) для материала бута в 25 раз больше, чем для песка, и в 11 раз больше, чем для средней почвы.

В результате охлаждения подстилающей поверхности ее теплопроводность снижается, и верхний слой выполняет роль теплоизолирующей прослойки, препятствующей подводу тепла от глубинных слоев грунта. Определяющим фактором становится тепло атмосферного воздуха. Температура жидкого аммиака в результате замедляется, и постепенно наступает режим стационарного испарения (рис. 2). При этом подводимое извне количество тепла равно количеству тепла, поглощаемому при испарении пролива аммиака [21, 22]. Образующееся облако может приобретать различные формы: от летучести смесей продукта с воздухом (при атмосферном давлении и температуре кипения плотность паров аммиака $0,9 \text{ кг}/\text{м}^3$, а воздуха $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$) до смесей, которые плотнее воздуха. Это обусловлено содержанием капель NH_3 в смеси с влажным или сухим воздухом. При содержании капель в смеси с сухим воздухом ~ 4–8 % (масс.) смесь будет

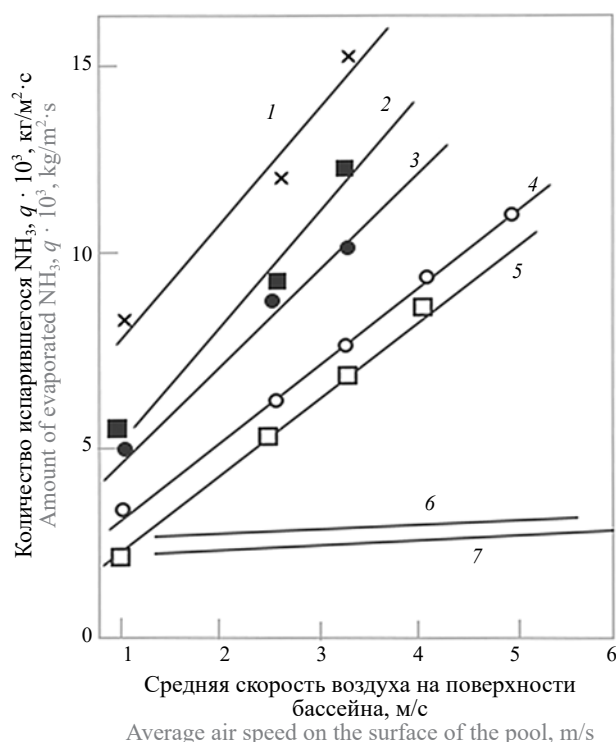


Рис. 3. Зависимость количества испарившегося аммиака от средней скорости воздуха при различной температуре и размерах пролива жидкого аммиака: 1 — $0,1 \times 0,1$, 36 °C; 2 — $0,25 \times 0,25$ м, 38 °C; 3 — $0,25 \times 0,25$ м, 36 °C; 4 — $0,25 \times 0,25$ м, 22 °C; 5 — $0,5 \times 0,5$ м, 36 °C; 6 — 3×3 м, 26 °C; 7 — 3×3 м, 4,4 °C

Fig. 3. Dependence of the amount of evaporated ammonia on the average air velocity at different temperatures and sizes of the liquid ammonia spill: 1 — 0.1×0.1 , 36 °C; 2 — 0.25×0.25 m, 38 °C; 3 — 0.25×0.25 m, 36 °C; 4 — 0.25×0.25 m, 22 °C; 5 — 0.5×0.5 m, 36 °C; 6 — 3×3 m, 26 °C; 7 — 3×3 m, 4.4 °C

плавающей. Выше этой массы смесь становится плотнее воздуха, теряет плавучесть и начинает стелиться над подстилающей поверхностью. Для влажного воздуха предельное значение капель аммиака при переходе от плавучести облака к его резкому снижению равно ~ 16–20 % (масс.) [22].

Скорость испарения аммиака зависит от размеров пролива. Как следует из данных рис. 3, с уменьшением размера пролива скорость испарения увеличивается, что связано с увеличением удельной поверхности ограждений и повышением подводимого тепла.

Локализация и ликвидация проливов аммиака может быть достигнута благодаря применению следующих способов: ускорению испарения воздушными струями; уменьшению поверхности испарения аммиака с использованием прямков, поддонов, сливов в аварийные емкости; растворению в воде, применением водяных завес; нанесением водно-пенных составов для полярных жидкостей, устойчивых к разрушению.

При небольших (до 1000 кг) проливах жидкого аммиака его растворяют в воде в 20–100 раз (в зави-

симости от размеров и количества пролива), например, распыленной водой, орошая всю поверхность пролива.

При выбросах газовых облаков или испарении больших проливов главным способом предотвращения пожаров и достижения больших концентраций аммиака в воздухе также является применение водяных завес, создаваемых стационарными и передвижными установками. Весьма эффективным способом предотвращения и тушения пожаров при больших проливах аммиака является также применение устойчивых к разрушению водно-пенных составов, предназначенных для тушения полярных жидкостей со свойствами электролита высокой концентрации. Водно-пенные составы, поданные на зеркало пролива аммиака, изолируют его от кислорода воздуха и к тому же существенно снижают выделение паров аммиака в окружающую среду. Для предотвращения горения и пожара аммиака на открытой поверхности применяются пены низкой и средней кратности, так как пены высокой кратности легко сносятся ветром.

Заключение

При выбросе аммиака из оборудования под давлением образующаяся смесь продукта с воздухом может изменяться по плотности от образования газозвудушных облаков ниже плотности воздуха до плавучести и превышения плотности воздуха в зависимости от условий выброса: давление и температура в оборудовании; размеры отверстия, через которое поступает аммиак в окружающее пространство; расположение отверстия в оборудовании (газовая или жидкая фаза).

При утечке жидкого аммиака образуются проливы, с поверхности которых продукт испаряется благодаря градиенту температур, когда он высок, особенно бурно в первые моменты после пролива. Расчетные и опытные данные свидетельствуют, что при проливах жидкого аммиака наиболее опасной является зона радиусом вокруг источника до нескольких сотен метров. На испарение расходуется тепло верхнего слоя почвы (подстилающей поверхности) и окружающего воздуха, причем в большей степени в начальный период, это зависит от природы подстилающей поверхности. В дальнейшем определяющим фактором становится тепло атмосферного воздуха.

Локализация и ликвидация проливов аммиака может быть достигнута благодаря применению следующих способов: ускорения испарения воздушными струями; уменьшения поверхности испарения аммиака с использованием прямков, поддонов, сливов в аварийные емкости; растворения в воде и применения водяных завес; нанесения водно-пенных составов для полярных жидкостей, устойчивых к разрушению.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мустафин Т.Н., Сайфетдинов А.Г., Шарапов И.И., Визгалов С.В. Система подавления испарений и нейтрализации проливов жидкого аммиака на холодильной установке // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 17. С. 237–240.
2. Савчук О.Н. Совершенствование способов ликвидации последствий аварий с разгерметизацией резервуаров с аммиаком при транспортировке их автомобильным транспортом // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. Т. 2024. № 2 (70). С. 34–44.
3. Suardin J.A., Yanjun Wang, Willson M., Mannan M.S. Field experiments on high expansion (HEX) foam application for controlling LNG pool fire // Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 165. Pp. 612–622. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.10.040
4. Гавкалюк Б.В., Шаталова Н.В. Проблемы безопасной транспортировки аммиака автомобильным транспортом // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 4 (52). С. 117–123. EDN CHYRXL.
5. Синицын В.В., Татаринов В.В., Прус Ю.В., Кирсанов А.А. Статистика автомобильных перевозок опасных грузов и происшествий // Технологии техносферной безопасности. 2018. № 4 (80). С. 24–35. DOI: 10.25257/TTS.2018.4.80.24-35. EDN VNBHZZ.
6. Zhu Z., Li S. Analysis of the operation status of atmospheric pressure tank trucks for road transportation of liquid dangerous goods // Chemical Engineering Communications. 2020. No. 46. Pp. 201–217.
7. Иванов Ю.А., Стрижевский И.И. Хранение и транспортировка жидкого аммиака. М. : Химия, 1991. 75 с.
8. Алексеева О.К., Козлов С.И., Фатеев В.Н. Транспортировка водорода // Транспорт на альтернативном топливе. 2011. № 3 (21). С. 18–24. EDN NXVCQJ.
9. Bagheri M., Verma M., Verter V. Transport mode selection for toxic gases: rail or road? // Risk Analysis. 2013. Vol. 34. Issue 1. Pp. 168–186. DOI: 10.1111/risa.12063
10. Картунов Р.И. Организация системы управления пожарной безопасностью цеха по производству аммиака // Символ науки. 2020. № 3. С. 28–30.
11. Вогман Л.П. Особенности физико-химических и пожаровзрывоопасных свойств аммиака и пожарная опасность объектов защиты, в которых он используется // Холодильная техника. 2020. № 3. С. 48–54. DOI: 10.17816/rf104062. EDN WLGFOZ.
12. Вогман Л.П. Пожаровзрывоопасность при разгерметизации оборудования с аммиаком // Безопасность труда в промышленности. 2021. № 10. С. 27–33. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-10-27-30. EDN BSROKL.
13. Савчук О.Н. Уточнение геометрических параметров площади пролива аварийно химически опасных веществ, перевозимых автомобильным транспортом // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 3 (71). С. 63–73.
14. Liu X., Saat M.R., Barkan C.P.L. Probability analysis of multiple-tank-car release incidents in railway hazardous materials transportation // Journal of Hazardous Materials. 2014. Vol. 276. Pp. 442–451. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.05.029
15. Баратов А.Н. Горение – пожар – взрыв – безопасность. М. : ВНИИПО МЧС России, 2003. 363 с.
16. Huang W., Zhang Y., Zuo B., Yua Y., De Dieu G.J., Xu Y. Using an expanded Safety Failure Event Network to analyze railway dangerous goods transportation system risk-accident // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2020. Vol. 65. P. 104122. DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104122
17. Ford P. Enhancing Fire Safety in Commercial Vehicles: Assessing the Efficacy and Advantages of Exploding Fire Extinguishing Balls // Journal of Transportation Technologies. 2024. No. 14. Pp. 521–548. DOI: 10.4236/jtts.2024.144029
18. Nedorchuk B.L., Filippow V.N., Shebeko Yu.N. General technical requirements for safety of railway tanks for transportation of hazardous materials // Pojazdy szynowe na przełomie wieków. Krakow : Arlamow, 2000. Vol. 1. Pp. 197–203.
19. Котов Г.В., Еремин А.П., Тищенко В.Г. Расчет количества рукавных распылителей для постановки водяных завес при ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с проливом аммиака // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2007. № 2 (6). С. 40–45.
20. Inanloo B., Tansel B. Explosion impacts during transport of hazardous cargo: GIS-based characterization of overpressure impacts and delineation of flammable zones for ammonia // Journal of Environmental Management. 2015. Vol. 156. Pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.02.044
21. Resplandy A. Chimie Industrie – Genie Chimique. 1969. Vol. 102. No. 6. Pp. 691–702.
22. Burges E.A. 15-th Symposium International Combustion. Tokyo, 1974. P. 283.

REFERENCES

1. Mustafin T.N., Sayfedinov A.G., Sharapov I.I., Vizgalov S.V. System of vaporization suppression and neutralization of liquid ammonia spills at the refrigeration plant. *Bulletin of Technological University*. 2015; 18(17):237-240. (rus).
2. Savchuk O.N. Improvement of methods of liquidation of consequences of accidents with depressurization of tanks with ammonia during their transportation by motor transport. *Problems of risk management in the technosphere*. 2024; 2024(2):(70):34-44. (rus).
3. Suardin J.A., Yanjun Wang, Willson M., Mannan M.S. Field experiments on high expansion (HEX) foam application for controlling LNG pool fire. *Journal of Hazardous Materials*. 2009; 165:612-622. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.10.040
4. Gavkalyuk B.V., Shatalova N.V. Problems of safe transportation of ammonia by automobile transport. *Problems of risk management in the technosphere*. 2019; 4(52):117-123. EDN CHYRXL. (rus).
5. Sinitsyn V.V., Tatarinov V.V., Prus Yu.V., Kirsanov A.A. Statistics of automobile transportation of dangerous goods and accidents. *Technosphere safety technologies*. 2018; 4(80):24-35. DOI: 10.25257/TTS.2018.4.80.24-35. EDN VNBHSD. (rus).
6. Zhu Z., Li S. Analysis of the operation status of atmospheric pressure tank trucks for road transportation of liquid dangerous goods. *Chemical Engineering Communications*. 2020; 46:201-217.
7. Ivanov Y.A., Strizhevskiy I.I. *Storage and transportation of liquid ammonia*. Moscow, Khimiya, 1991; 75. (rus).
8. Alekseeva O.K., Kozlov S.I., Fateev V.N. Hydrogen transportation. *Transportation on alternative fuel*. 2011; 3(21):18-24. EDN NXVCQJ. (rus).
9. Bagheri M., Verma M., Verter V. Transport mode selection for toxic gases: rail or road? *Risk Analysis*. 2013; 34(1):168-186. DOI: 10.1111/risa.12063
10. Kartunov R.I. Organization of the fire safety management system of the ammonia production shop. *Symbol of Science*. 2020; 3:28-30.
11. Vogman L.P. Physical-chemical and fire-explosive properties of ammonia and fire hazard of defence objects in which it is used. *Refrigeration equipment*. 2020; 3:48-54. DOI: 10.17816/rf104062. EDN WLGFOZ. (rus).
12. Vogman L.P. Fire and explosion hazard during depressurization of equipment with ammonia. *Occupational Safety in Industry*. 2021; 10:27-33. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-10-27-30. EDN BSROKL. (rus).
13. Savchuk O.N. Refinement of geometrical parameters of the spillage area of accidentally chemically hazardous substances transported by automobile transport. *Problems of risk management in the technosphere*. 2024; 3(71):63-73. (rus).
14. Liu X., Saat M.R., Barkan C.P.L. Analysis of the likelihood of multiple tank wagon release incidents in rail transport of hazardous materials. *Journal of Hazardous Materials*. 2014; 276:442-451. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2014.05.029
15. Baratov A.N. *Burning-fire-explosion-safety*. Moscow, VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2003; 363. (rus).
16. Huang W., Zhang Y., Zuo B., Yua Y., De Dieu G.J., Xu Y. Using an expanded Safety Failure Event Network to analyze railway dangerous goods transportation system risk-accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2020; 65:104122. DOI: 10.1016/j.jlp.2020.104122
17. Ford P. Enhancing Fire Safety in Commercial Vehicles: Assessing the Efficacy and Advantages of Exploding Fire Extinguishing Balls. *Journal of Transportation Technologies*. 2024; 14:521-548. DOI: 10.4236/jtts.2024.144029
18. Nedorchuk B.L., Filippov V.N., Shebeko Yu.N. General technical requirements for safety of railway tanks for transportation of hazardous materials. *Rail vehicles at the turn of the century*. Krakow, Arlamow, 2000; 1:197-203.
19. Kotov G.V., Eremin A.A.P., Tishchenko V.G. Calculation of the number of hose sprayers for water curtains in the liquidation of emergency situations associated with ammonia spill. *Bulletin of the Command and Engineering Institute of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus*. 2007; 2(6):40-45. (rus).
20. Inanloo B., Tansel B. Explosion impacts during transport of hazardous cargo: GIS-based characterization of over-pressure impacts and delineation of flammable zones for ammonia. *Journal of Environmental Management*. 2015; 156:1-9. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.02.044
21. Resplandy A. *Chimie Industrie – Genie Chimique*. 1969; 102(6):691-702.
22. Burges E.A. *15-th Symposium International Combustion*. Tokio, 1974; 283.

Поступила 20.12.2024, после доработки 08.04.2025;

принята к публикации 11.04.2025

Received December 20, 2024; Received in revised form April 08, 2025;

Accepted April 11, 2025

Информация об авторах

ВОГМАН Леонид Петрович, 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; Scopus AuthorID: 57722362000; ORCID: 0000-0003-4222-3379; e-mail: vniipo-3.5.3@yandex.ru

БОЛОДЬЯН Иван Ардашевич, 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; AuthorID: 529585; Scopus AuthorID: 6508266383; e-mail: vniipo3.5.3@yandex.ru

ПРОСТОВ Евгений Николаевич, старший 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; ScopusID: 6506573345; SPIN-код: 1752-9236; AuthorID: 1288447; e-mail: Prostop.vniipo@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Leonid P. VOGMAN, Dr. Sci. (Eng.), Main Researcher, All Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; Scopus AuthorID: 57722362000; ORCID: 0000000342223379; e-mail: vniipo3.5.3@yandex.ru

Ivan A. BOLODYAN, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Main Researcher, All Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; AuthorID: 529585; Scopus AuthorID: 6508266383; e-mail: vniipo3.5.3@yandex.ru

Eugene N. PROSTOV, Senior Researcher, All Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ScopusID: 6506573345; SPIN-code: 1752-9236; AuthorID 1288447; e-mail: Prostop.vniipo@mail.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interest.

Влияние вида глины на модифицирующий эффект синтетического диопсида в керамических материалах

Алла Германовна Соколова¹✉, Елена Михайловна Готлиб², Илья Дмитриевич Твердов³

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

² Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

³ АНО ВО «Университет Иннополис», Республика Татарстан, г. Иннополис, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Состав глинистой шихты в современной керамической промышленности корректируется введением полифункциональных добавок, среди которых распространены силикатные наполнители на основе крупнотоннажных промышленных отходов. Синтетический диопсид на основе золы рисовой шелухи и доломита, обладая рядом ценных характеристик, представляет несомненный интерес в качестве основной кристаллической фазы при производстве разных видов керамики.

Цель. Изучение модифицирующего действия синтетического диопсида (СД) на основе золы рисовой шелухи (ЗРШ) и доломита в составе керамической шихты на основе различных видов глинистого сырья.

Материалы и методы. В работе были исследованы глины Башкирского и Яушского месторождений, немодифицированные композиции на их основе, а также составы, наполненные синтетическим диопсидом. Стандартными экспериментальными методами были исследованы фазовый и гранулометрический составы глин, пластичность, истинная плотность и водостойкость базовой и модифицированных композиций, определена огневая, полная и воздушная усадка.

Результаты и обсуждение. Различия в фазовом и гранулометрическом составе глин незначительно влияют на пластичность глиняной шихты, но обуславливают разную истинную плотность. Установлено, что водостойкость и общая прочность немодифицированной керамики на основе этого глинистого сырья отличаются в среднем на 10 %.

Выводы. Синтетический диопсид показал свою эффективность как модификатор глинистого сырья, снижающий усадку керамических материалов и пластичность, при этом более перспективной для применения является глина Яушского месторождения.

Ключевые слова: зола рисовой шелухи; усадка; модификация; фазовый состав; водостойкость; керамическая шихта; кальций-магниево-силикатные силикаты; водостойкость; воздушная усадка; огневая усадка

Для цитирования: Соколова А.Г., Готлиб Е.М., Твердов И.Д. Влияние вида глины на модифицирующий эффект синтетического диопсида в керамических материалах // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 2. С. 42–49. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.42-49

✉ Соколова Алла Германовна, e-mail: as.falconi@yandex.ru

Influence of clay type on the modifying effect of synthetic diopside in ceramic materials

Alla G. Sokolova¹ ✉, Elena M. Gotlib², Ilya D. Tverdov³

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

² Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

³ ANO HE "Innopolis University", Republic of Tatarstan, Innopolis, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. In the modern ceramic industry, the composition of the clay charge is adjusted by the introduction of polyfunctional additives, among which silicate fillers on the base of large-tonnage industrial waste are widespread. Synthetic diopside derived from rice husk ash and dolomite, having a number of valuable characteristics, is of undoubted interest as the main crystalline phase in the production of different types of ceramics.

The aim. To investigate the modifying effect of synthetic diopside (SD) derived from rice husk ash (RHA) and dolomite in the composition of ceramic charge based on different types of clay raw materials.

Materials and methods. In this study, there were investigated the clays of Bashkir and Yaush deposits, unmodified compositions based on them, as well as compositions filled with synthetic diopside. Standard experimental methods were used to study the phase and particle size distribution of clays, plasticity, true density and water resistance of base and modified compositions, fire, total and air shrinkage were determined.

Results and discussion. Differences in the phase and particle size distribution of clays do not significantly affect the plasticity of the clay charge, but cause different true density. It was found that water resistance and overall unmodified ceramics based on these clay raw materials differ on average by 10 %.

Conclusions. Synthetic diopside has shown its effectiveness as a modifier of clay raw materials, reducing the shrinkage of ceramic materials and plasticity, with the clay of the Yaush deposit being more promising for application.

Keywords: rice husk ash; shrinkage; modification; phase composition; water resistance; ceramic charge; calcium magnesium silicates; water resistance; air shrinkage; fire shrinkage

For citation: Sokolova A.G., Gotlib E.M., Tverdov I.D. Influence of clay type on the modifying effect of synthetic diopside in ceramic materials. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(2):42-49. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.42-49 (rus).

✉ Alla Germanovna Sokolova, e-mail: as.falconi@yandex.ru

Введение

Нетрадиционные сырьевые материалы приобретают все большую распространенность в технологии производства керамических изделий ввиду недостатка ископаемого сырья высокого качества и растущей потребности в нем, вызванной строительным бумом на новых Российских территориях. Экономическая ситуация в РФ, сложившаяся в последние годы, вызвана ограниченной локализацией крупных месторождений высококачественного сырья, ростом железнодорожных тарифов на доставку сырьевых материалов из отдаленных районов, трудностью измельчения минеральных пород, наличием в их составе большого количества примесей.

В современной керамической промышленности, оснащенной автоматизированными линиями, состав шихты корректируется путем введения добавок, многие из которых являются полифункциональными. Так, например, более «жирные» глины вводят для улучшения пластических свойств шихты, отощающие добавки — в суглинки, кварцевый песок добавляют для улучшения сушильных свойств сырца и т.д. В результате получается многокомпонентная шихта с долей добавок, доходящей до 50 %, что приводит к удорожанию себестоимости получаемых изделий и сокращению доли местного глинистого сырья. Вышеперечисленные факторы требуют расширения минеральной сырьевой базы и делают актуальным применение в составе керамических материалов силикатных наполнителей на основе промышленных отходов, в том числе сельскохозяйственного производства, например рисовой крупы [1, 2].

Для получения качественных керамических материалов, особенно крупноразмерных изделий, ключевым технологическим параметром является низкая усадка, которую, согласно данным [3], может обеспечить наполнение цепочечным кальций-магниевым силикатом — диопсидом. Особенно важно учитывать параметры воздушной и огне-

вой усадки при расчете размеров изделий в процессе формования, в особенности изделий сложной формы.

Диопсид характеризуется высокими прочностными характеристиками, электрофизическими свойствами, кислотостойкостью, что делает его незаменимым в качестве основной кристаллической фазы при производстве различных видов керамики.

Разработка месторождений природного диопсида требует больших трудо- и энергозатрат. Так, в частности, слюдянское месторождение природного диопсида в Иркутской области разработано недостаточно, в связи с чем на отечественном рынке наблюдается дефицит этого материала [4]. Представляется рациональным синтезировать диопсид на основе доломита и золы рисовой шелухи (ЗРШ).

На характер модифицирующего действия этого кальций-магниевого силиката (КМС) существенное влияние может оказывать фазовый и минеральный состав глинистого компонента керамики [5].

Цель данного исследования — изучить модифицирующее действие синтетического диопсида (СД) в составе керамической шихты на основе различных видов глинистого сырья. Для достижения данной цели исследования были поставлены следующие задачи:

- изучить фазовый состав глин Башкирского и Яушского месторождений;
- определить гранулометрический состав глин обоих месторождений и число пластичности базовой и модифицированных композиций;
- определить истинную плотность и водостойкость базовой и модифицированных композиций;
- провести экспериментальные исследования по определению огневой, полной и воздушной усадки модифицированных композиций и сделать выводы о модифицирующем действии синтетического диопсида в составе керамической шихты.

Материалы и методы исследования

В качестве основы керамических материалов использованы глины Яушского (Чувашия) и Башкирского месторождений.

Синтетический диопсид, содержащий наполнитель (СД), был получен авторами твердофазным методом [6, 7] при температуре 1100 °С в течение 3 ч на основе карбонизированной при 500 °С рисовой шелухи и доломита (ГОСТ 23672–2020¹), при содержании этих компонентов в шихте 38 и 57 %, соответственно, и добавлении 5 % плавня — борной кислоты (ГОСТ 18704–78²).

Обжиг образцов для получения керамики проводился при температуре 1080 °С в лабораторной электрической печи типа КЭП 14/1250–П.

Для проведения физико-химических исследований образцы глин отбирали методом квартования.

Рентгенографический количественный фазовый анализ глин проводился на многофункциональном дифрактометре Rigaku SmartLab.

Гранулометрический состав глин определялся по Рутковскому [8]. Пластичность оценивалась согласно ГОСТ 21216–2014³. Водопоглощение глиняного сырья оценивалось по ГОСТ 7025–91⁴.

Определение истинной плотности глиняного сырья производилось пикнометрическим методом согласно ГОСТ 2211–2020⁵.

Воздушная, огневая и полная усадка определялись методом, описанным в работе [9].

Результаты и обсуждение

Диопсид представляет особый интерес при использовании его в качестве кристаллической фазы в технологии получения керамических материалов, так как в процессе обжига глинистых смесей частицы этого КМС претерпевают лишь незначительные физико-химические превращения [7, 10].

Применяемый авторами для модификации СД содержит 97 % диопсида и в качестве побочной фазы кристаллические оксиды кремния (кristобалит и тридимит). У этого высокодисперсного кальций-магниевого силиката средний размер частиц составляет порядка 3 мкм [11], при этом частицы характеризуются невысокой пористостью (общий объем пор — 0,001 см³/г).

¹ ГОСТ 23672–2020. Доломит для стекольной промышленности. Технические условия.

² ГОСТ 18704–78. Кислота борная. Технические условия.

³ ГОСТ 21216–2014. Сырье глинистое. Методы испытаний.

⁴ ГОСТ 7025–91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.

⁵ ГОСТ 2211–2020. Огнеупоры и огнеупорное сырье. Методы определения истинной плотности.

Качество керамических изделий значительно зависит от свойств глинистых материалов [12], которые определяются их минералогическим, гранулометрическим и фазовым составом, влияющим на технологические характеристики сырья, предопределяющие эффективность его использования.

Исследования, проведенные методом РКФА, показали (табл. 1), что в фазовом составе глин обоих месторождений основным компонентом является кварц (полиморфная модификация диоксида кремния), содержание которого вдвое больше у Яушской глины.

В составе применяемых глин также имеется заметное количество альбита (особенно у Башкирской глины) и каолинита, которые относятся к классу алюмосиликатов. Оба типа глинистого сырья содержат порядка 10 % мусковита — силиката калия и алюминия, и 7–13 % монтмориллонита, который относится к подклассу слоистых силикатов. В составе глин обнаружен также хлорит — слюдоподобный железосодержащий силикат (табл. 1).

В Башкирской глине также присутствует карбонат кальция — кальцит, отсутствующий в фазовом составе глины Яушского месторождения. Из всех содержащихся в составе глин минералов он обладает наименьшей водостойкостью. Таким образом, глины

Таблица 1. Фазовый состав Башкирской и Яушской глин
Table 1. Phase composition of Bashkir and Yaush clays

Образец Specimen	Состав Composition	Содержание, Content, %
Башкирская глина Bashkir clay	Кварц Quartz	32
	Кальцит Calcite	7
	Альбит Albite	24
	Монтмориллонит Montmorillonite	13
	Хлорит Chlorite	9
	Каолинит Kaolinite	5
	Мусковит Muscovite	10
Яушская глина Yaush clay	Кварц Quartz	65
	Альбит Albite	4
	Тальк Talc	1
	Монтмориллонит Montmorillonite	7
	Хлорит Chlorite	6
	Каолинит Kaolinite	8
	Мусковит Muscovite	9

Таблица 2. Гранулометрический состав глин по Рутковскому
Table 2. Granulometric composition of clays according to Rutkovskii

Содержание фракций, % по объему Fractional content, % by volume		
Песчаные частицы размером 1–0,05 мм Sand particles 1–0.05 mm in size	Песчаные частицы размером 0,05–0,005 мм Sand particles 0.05–0.005 mm in size	Глинистые частицы размером менее 0,005 мм Clay particles smaller than 0.005 mm
63,0/70,0	16,6/2,7	20,4/27,3

Примечание: в числителе даны показатели для Яушской глины, а в знаменателе — для Башкирской.

Note: in the numerator are given indicators for Yaush clay, and in the denominator — for Bashkir clay.

обоих месторождений имеют примерно одинаковый качественный состав, отличающийся только соотношением минералов, особенно кварца.

Исследуемые глинистые породы относятся к суглинкам, так как содержат преимущественно песчаные частицы, причем у Яушской глины число песчаных частиц меньших размеров значительно выше (более чем в 6 раз) (табл. 2). Следует отметить, что у Башкирского сырья наблюдается более высокое содержание глинистых частиц.

Пластичность глины из Башкирии несколько ниже, чем Яушской (рис. 1), однако характер влияния на этот показатель СД практически не отличается. По числу пластичности оба вида исследуемого глинистого сырья относятся к среднепластичному сырью [10]. Пластичность обоих глинистых материалов закономерно снижается при росте концентрации диопсида, причем в большей степени для глины из Чувашского месторождения при 15 % диопсида. Таким образом, синтетический диопсид положительно влияет на технологические свойства сырьевых шихт из обоих видов глин.

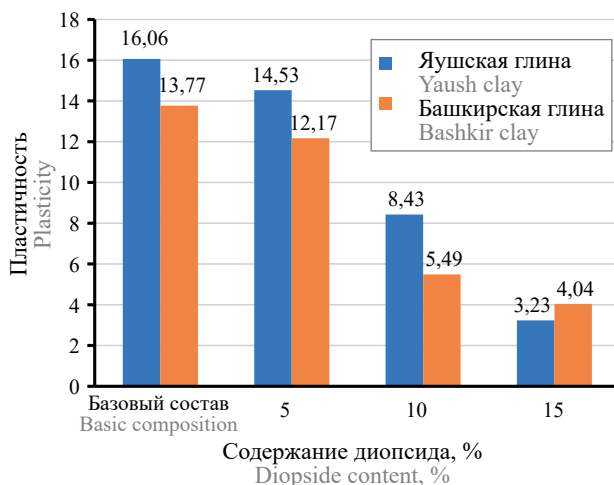


Рис. 1. Пластичность модифицированных диопсидом глин
Fig. 1. Plasticity of diopside-modified clays

Таблица 3. Истинная плотность модифицированных СД глин

Table 3. True density of SD modified clays

Содержание диопсида, % Diopside content, %	Базовый состав Basic composition	5	10	15
Истинная плотность, г/см³ True density, g/cm³	5,1/36,34	5,0/5,8	4,2/2,65	3,8/2,55

Примечание: в числителе даны показатели для Яушской глины, а в знаменателе — для Башкирской глины.

Note: in the numerator are given indicators for Yaush clay, and in the denominator — for Bashkir clay.

Истинная плотность Яушской глины не существенно зависит от концентрации диопсида в керамических массах (табл. 3). В то же время Башкирская глина имеет значительно большую плотность (примерно в 7 раз) (табл. 3), и данный показатель резко уменьшается при ее модификации СД (примерно на 90 %). Следует отметить, что пластичность модифицированных диопсидом композиций, при содержании данного КМС 10 и 15 %, ниже для Башкирской глины по сравнению с сырьем Чувашского месторождения.

Водостойкость керамики на основе обоих видов исследуемых глин не существенно отличается, она примерно на 10 % выше при использовании сырья Яушского месторождения (табл. 4).

Водопоглощение керамики (табл. 4) на основе Яушской глины при модификации СД значительно снижается (почти на 70 %), особенно в области низкого содержания данного модификатора. Это может происходить [13] за счет микроармирующего эффекта диопсида, выполняющего роль центра кристаллизации для новообразований, что обеспечивает прочный контакт этого КМС с минералами глинистого сырья.

Таблица 4. Водостойкость керамики на основе Башкирской и Яушской глин

Table 4. Water resistance of ceramics based on Bashkir and Yaush clay

Содержание СД, % SD content, %	Водопоглощение, % Water absorption, %
Базовый состав Basic composition	20,2/18,06
5	7,6/19,42
10	10,4/19,41
15	12,1/19,95

Примечание: в числителе даны показатели для Яушской глины, а в знаменателе — для Башкирской глины.

Note: in the numerator are given indicators for Yaush clay, and in the denominator — for Bashkir clay.

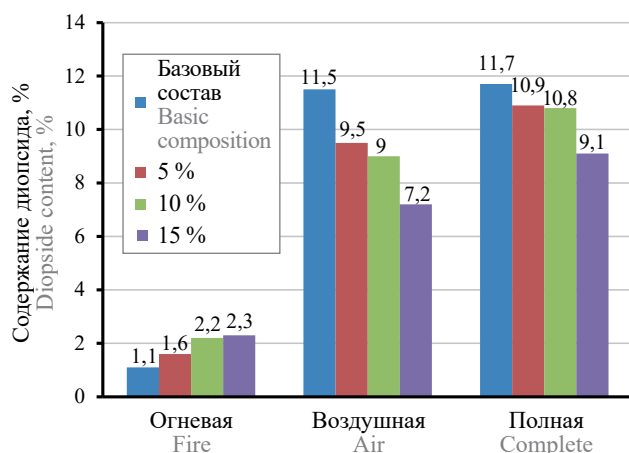


Рис. 2. Зависимость усадки керамики на основе Яушской глины от содержания диопсида

Fig. 2. Dependence of shrinkage of ceramics based on Yaush clay on diopside content

В то же время описываемый КМС незначительно (примерно на 10 %) повышает показатель водопоглощения у керамических материалов, полученных с использованием Башкирского глинистого сырья (табл. 4).

Очевидно, данное различие связано с разной степенью дисперсности исследуемых глин. Так, общеизвестно, что водостойкость керамики выше при использовании глин с меньшим размером частиц.

Воздушная усадка керамики на основе как Яушской, так и Башкирской глины находится примерно на одном уровне у немодифицированных материалов и закономерно уменьшается при увеличении концентрации СД (рис. 2, табл. 4).

Показатели огневой усадки керамики, изготовленной из Яушской глины, и при применении сырья из Башкирии находятся примерно на одном уровне. Однако СД различным образом влияет на этот показатель керамических материалов, увеличивая его при применении Яушской глины и оставляя примерно на одном уровне для керамики с сырьем из Башкирии (рис. 2, табл. 5). В то же время полная усадка керамики закономерно снижается с ростом содержания исследуемого КМС при применении обоих видов исследуемой глины.

Это связано с повышенной кристаллизационной способностью расплава модифицированных систем за счет растворения в нем Са и Mg, источником которых является диопсид, как правило, распределяющийся в глинистой составляющей между пылеватыми и песчаными частицами [14].

Причиной снижения усадки является то, что диопсид, растворяясь в расплаве, сохраняет свой структурный пироксеновый каркас, препятствуя изменению первоначального объема керамического изделия [10, 15].

Таблица 5. Усадка керамики на основе Башкирской глины в зависимости от содержания СД

Table 5. Shrinkage of ceramics based on Bashkir clay depending on the content of SD

Содержание СД, %, SD content, %	Усадка, % Shrinkage, %		
	Огневая Fire	Полная Complete	Воздушная Air
Базовый состав Basic composition	0,98	11,68	10,74
5	1,09	9,25	8,35
10	0,95	8,15	7,22
15	0,86	7,46	6,62

Различие фазового состава глин Яушского и Башкирского месторождений заключается в основном в разном содержании кристаллических модификаций диоксида кремния, что влияет преимущественно на количество мелких песчаных частиц и истинную плотность. Согласно литературным данным [16], зерна кварца могут частично растворяться в расплаве. Их нерастворившиеся остатки выполняют роль инертных наполнителей. В результате полиморфных превращений кварца возможно образование кристобалита и тридимита. Эти разновидности кристаллического кремнезема способны разрыхлять структуру керамического материала, что может быть причиной несколько большего водопоглощения керамики на основе Яушской глины (табл. 4).

Полная усадка керамики меньше в случае применения Башкирской глины как для немодифицированных составов, так и для составов, содержащих синтетический диопсид (рис. 2, табл. 5).

Вид кристаллических новообразований в процессе спекания керамических масс определяется свойствами сырья. Так, в глинах с избытком кремнезема преобладают кварц, тридимит, кристобалит [17, 18]. Это влияет на общую структуру обожженного материала [19, 20] и, вероятно, является причиной большей полной усадки керамики на основе глины Яушского месторождения.

Заключение

Фазовый состав глин Яушского и Башкирского месторождений отличается, в основном, содержанием кварца, что отражается в разном количестве мелких песчаных частиц, обуславливает различия в истинной плотности, при этом незначительно влияя на пластичность глины. Было установлено, что оба вида глинистого сырья являются среднепластичными, добавление в шихту диопсида снижает

пластичность сырьевой шихты, что улучшает ее технологические свойства.

Глина Башкирского месторождения имеет истинную плотность, значительно превышающую плотность Яушской глины (в 7 раз), модификация синтетическим диопсидом снижает данный показатель на 90 %.

Благодаря микроармирующему эффекту диопсида водопоглощение керамики на основе Яушской глины снижается до 70 %, особенно при низком содержании модификатора. В то же время водостойкость и общая усадка немодифицированной керамики на основе глинистого сырья Башкирского месторождения отличаются в среднем на 10 %.

Установлено, что диопсид, синтезированный твердофазным методом на основе золы рисовой шелухи, является достаточно эффективным модификатором глинистого сырья, уменьшающим усадку керамических материалов на основе обоих видов сырьевых материалов и одновременно снижающим их пластичность.

Более перспективно использовать исследуемый кальций-магний-силикат для керамики на основе глины Яушского месторождения вследствие значительного роста водостойкости этого материала при модификации, что позволяет применять его, например, для изготовления сантехнических керамических изделий, а также отделочной и напольной плитки для бассейнов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Mishagin K.A., Yamaleeva E.S., Gotlib E.M., Sokolova A.G., Pirogova N.N.* The impact of calcium silicate obtained from zeolite-siliceous rock on properties of ceramic materials // *Construction Economics*. 2024. No. 10. Pp. 433–435.
2. *Готлиб Е.М., Соколова А.Г., Гимранова А.Р.* Исследование влияния волластонита на свойства керамических изделий // *Экономика строительства*. 2023. № 9. С. 149–152. EDN NMMXTN.
3. *Верещагин В.И., Меньшикова В.К., Бурученко А.Е., Могилевская Н.В.* Керамические материалы на основе диопсида // *Стекло и керамика*. 2010. № 11. С. 13–16. EDN NBKRMB.
4. *Ghosh S., Koisumi S., Hiraga T.* Diffusion creep of diopside // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2022. No. 126 (1). DOI: 10.1029/2020JB019855
5. *Верещагин В.И., Бурученко А.Е., Меньшикова В.К.* Безусадочный облицовочный керамический материал на основе диопсидового сырья // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1–1. С. 13. EDN VIDTCB.
6. *Nazzareni S., Skogby H., Hålenius U.* Crystal chemistry of Sc-bearing synthetic diopside // *Physics And Chemistry Of Minerals*. 2013. Issue 40. Pp. 789–798. DOI: 10.1007/s00269-013-0613-5
7. *Твердов И.Д., Ямалеева Е.С., Готлиб Е.М., Холин К.В., Султанов Т.П.* Изучение фазовых превращений в процессе твердофазного синтеза диопсида на основе золы рисовой шелухи // *Вестник ВГУИТ*. 2024. Т. 86. № 2. С. 277–283. DOI: 10.20914/2310-1202-2024-2-277-283
8. *Ступников В.С., Данчук Е.М., Черкасова Л.И.* Методы определения типа и состава грунта // *Международный журнал прикладных наук и технологий «Интеграл»*. 2019. № 1. С. 22–27. EDN FMMFSI.
9. *Мошняков М.Г., Орлова Т.А.* Реология и исследование текучести глин российских месторождений для производства керамики // *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Технические науки*. 2016. № 4 (52). С. 147–157.
10. *Бурученко А.Е., Меньшикова В.К., Верещагин В.И.* Облицовочная строительная керамика на основе диопсида // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2011. № 3. С. 145–152.
11. *Габдулхаев К.Р., Валеева А.Р., Твердов И.Д., Готлиб Е.М.* Сравнение состава, свойств и модифицирующего действия в эпоксидных композициях природного и синтетического диопсидсодержащих наполнителей // *Вопросы материаловедения*. 2024. № 3 (119). С. 147–155. DOI: 10.22349/1994-6716-2024-119-3-145-152. EDN ENUXGX.
12. *Твердов И.Д., Готлиб Е.М., Габдулхаев К.Р., Ямалеева Е.С.* Керамические материалы, модифицированные синтетическим диопсидом на основе золы рисовой шелухи // *Вестник технологического университета*. 2024. Т. 27. № 2. С. 63–67.
13. *Лазарева Я.В., Лапунова К.М., Орлова М.Е., Котляр А.В.* Взаимосвязь водопоглощения и водонепроницаемости керамической черепицы из аргиллитоподобных глин // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 36–39.
14. *Казьмина О.В., Верещагин В.И., Абияка А.Н.* Влияние предварительной подготовки стекольной шихты и степени ее дисперсности на процессы силикато- и стеклообразования // *Техника и технология силикатов*. 2009. Т. 16. № 3. С. 2–7. EDN JTIAWT.

15. Rassokhin A.S., Ponomarev A.N., Figovsky O.L. Silica fumes of different types for high-performance fine-grained concrete // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 2 (78). Pp. 151–160. DOI: 10.18720/MCE.78.12
16. Chumachenko N.G. The use of phas.rule diagrams of aluminosilicate systems for calculating melt amount and constituents appearing in ceramic mixture under firing // *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 91. Pp. 381–385. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.079
17. Ушницкая Н.Н., Местников А.Е. Исследование свойств глинистого сырья методами физико-химического анализа // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. Шухова*. 2024. Т. 9. № 4. С. 16–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-4-16-25
18. Vakalova T.V., Govorova L.P., Reshetova A.A., Shvagruckova E., Tokareva A.Yu. Activation of synthesis and sintering of mullite aluminosilicate ceramics based on natural raw materials // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 1040. Pp. 268–271. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.268
19. Чумаченко Н.Г., Тюрников В.В., Недосеко И.В. К вопросу оптимизации структуры для получения высокопрочной керамики // *Градостроительство и архитектура*. 2023. Т. 13. № 1. С. 92–96. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.12
20. Вережцагин В.И., Могилевская Н.В., Сафонова Т.В. Спекание и прочность стеновой керамики и фаянса из композиций глинистого и диопсидсодержащего сырья // *Вестник ТГАСУ*. 2019. Т. 21. № 6. С. 122–131. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-122-133. EDN TFUCTT.

REFERENCES

1. Mishagin K.A., Yamaleeva E.S., Gotlib E.M., Sokolova A.G., Pirogova N.N. The impact of calcium silicate obtained from zeolite-siliceous rock on properties of ceramic materials. *Construction Economics*. 2024; 10:433-435.
2. Gotlib E.M., Sokolova A.G., Gimranova A.R. Study of the effect of wollastonite on the properties of ceramic products. *Construction Economics*. 2023; 9:149-152. EDN NMMXTN. (rus).
3. Vereshchagin V.I., Men'shikova V.K., Buruchenko A.E., Mogilevskaya N.V. Ceramic materials on the diopside base. *Glass and Ceramics*. 2010; 11:13-16. EDN NBKRMБ. (rus).
4. Ghosh S., Koisumi S., Hiraga T. Diffusion creep of diopside. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2022; 126(1). DOI: 10.1029/2020JB019855
5. Vereshchagin V.I., Buruchenko A.E., Men'shikova V.K. Dimensionally stable ceramic facing material on the basis of diopside raw materials. *Modern Problems of Science and Education*. 2015; 1-1:13. EDN VIDTCB. (rus).
6. Nazzareni S., Skogby H., Hålenius U. Crystal chemistry of Sc-bearing synthetic diopsides. *Physics And Chemistry Of Minerals*. 2013; 40:789-798. DOI: 10.1007/s00269-013-0613-5
7. Tverdov I.D., Yamaleeva E.S., Gotlib E.M., Kholin K.V., Sultanov T.P. Study of phase transformations in the process of solid-phase synthesis of diopside based on rice husk ash. *Proceedings of VSUET*. 2024; 86(2):277-283. DOI: 10.20914/2310-1202-2024-2-277-283 (rus).
8. Stupnikov V.S., Danchuk E.M., Cherkasova L.I. The methods of determining type and composition of soils. *International Journal of Applied Sciences and Technology Integral*. 2019; 1:22-27. EDN FMMFSI. (rus).
9. Moshnyakov M.G., Orlova T.A. Rheology and the study of flowage of Russian deposit clay for ceramic manufacturing. *Bulletin of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*. 2016; 4(52):147-157.
10. Buruchenko A.E., Men'shikova V. K., Vereshchagin V.I. Facing building ceramics on the basis of the diopside compositions with clay. *Journal of Construction and Architecture*. 2011; 3:145-152.
11. Gabdulkhayev K.R., Valeeva A.R., Tverdov I.D., Gotlib E.M. Comparison of composition, properties and modifying effect in epoxy compositions of natural and synthetic diopside-containing fillers. *Issues of Material Science*. 2024; 3(119):147-155. DOI: 10.22349/1994-6716-2024-119-3-145-152. EDN ENUXGX. (rus).
12. Tverdov I.D., Gotlib E.M., Gabdulkhayev K.R., Yamaleeva E.S. Ceramic materials modified by synthetic diopside on the base of rice husk ash. *Herald of Technological University*. 2024; 27(2):63-67. (rus).
13. Lazareva Ya.V., Lapunova K.M., Orlova M.E., Kotlyar A.V. Relationship of Water Absorption and Water Resistance of a Ceramic Tile from Argillith-Like Clays. *Construction Materials*. 2018; 5:36-39. (rus).
14. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Abiyaka A.N. The impact of preliminary treatment of glass batch and the degree of its dispersiveness on the processes of silicates and glass formation. *Technique and Technology of Silicates*. 2009; 16(3):2-7. EDN JTIAWT. (rus.).
15. Rassokhin A.S., Ponomarev A.N., Figovsky O.L. Silica fumes of different types for high-performance fine-grained concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; 2(78):151-160. DOI: 10.18720/MCE.78.12
16. Chumachenko N.G. The use of phas.rule diagrams of aluminosilicate systems for calculating melt amount and constituents appearing in ceramic mixture under firing. *Procedia Engineering*. 2014; 91:381-385. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.079

17. Ushnitskaya N.N., Mestnikov A.E. Investigation of the properties of clay raw materials by methods of physico-chemical analysis. *Bulletin of Belgorod State Technological University Named after V.G. Shukhov*. 2024; 9(4):16-25. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-4-16-25
18. Vakalova T.V., Govorova L.P., Reshetova A.A., Shvagruckova E., Tokareva A.Yu. Activation of synthesis and sintering of mullite aluminosilicate ceramics based on natural raw materials. *Advanced Materials Research*. 2014; 1040: 268-271. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.268
19. Chumachenko N.G., Tyunikov V.V., Nedoseko I.V. Structure optimization for producing high-strength ceramics. *Urban Construction and Architecture*. 2023; 13(1):92-96. DOI: 10.17673/Bulletin.2023.01.12 (rus).
20. Vereshchagin V.I., Mogilevskaya N.V., Safonova T.V. Sintering and durability of clay- and diopside-containing ceramic and faience wall materials. *Bulletin of Tomsk State Architectural and Structural Engineering University — Journal of Construction and Architecture*. 2019; 21(6):122-131. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-122-133. EDN TFUCTT. (rus).

Поступила 10.03.2025, после доработки 20.03.2025;

принята к публикации 28.03.2025

Received March 10, 2025; Received in revised form March 20, 2025;

Accepted March 28, 2025

Информация об авторах

ТВЕРДОВ Илья Дмитриевич, аналитик, АНО ВО «Университет Иннополис», Россия, 420500, Республика Татарстан, г. Иннополис, Университетская ул., 1; ORCID: 0000-0002-7524-3088, AuthorID: 57218419634; e-mail: idtverdov@gmail.com

СОКОЛОВА Алла Германовна, к.т.н., доцент кафедры строительного материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; ORCID: 0000-0001-8425-1883; ResearcherID: F-3314-2017; AuthorID: 57202822282; e-mail: as.falconi@yandex.ru

ГОТЛИБ Елена Михайловна, д.т.н., профессор кафедры технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, 420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68; ORCID: 0000-0003-1666-8702; AuthorID: 6603371638; e-mail: egotlib@yandex.ru

Вклад авторов:

Твердов И.Д. — идея; обработка материала; написание статьи.

Соколова А.Г. — сбор материала; обработка материала.

Готлиб Е.М. — концепция; научное редактирование текста; общее руководство.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Ilya D. TVERDOV, Research Associate, ANO HE “Innopolis University”, Universitetskaya street, 1, Innopolis, Republic of Tatarstan, 420500, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-7524-3088; AuthorID: 57218419634; e-mail: idtverdov@gmail.com

Alla G. SOKOLOVA, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Materials Science, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-8425-1883; ResearcherID: F-3314-2017; AuthorID: 57202822282; e-mail: as.falconi@yandex.ru

Elena M. GOTLIB, Dr. Sci. (Eng.), Professor Synthetic Rubber Technology Department, Kazan National Research Technological, Karl Marx street, 68, Kazan, 420015, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1666-8702; AuthorID: 6603371638; e-mail: egotlib@yandex.ru

Contribution of the authors:

Tverdov I.D. — idea; processing of the material; writing the article.

Sokolova A.G. — collection of the data; processing of the data.

Gotlib E.M. — concept; scientific editing of the text; general guidance.

The authors declare no conflicts of interests.

Оценка времени блокирования путей эвакуации по объемной счетной концентрации твердых частиц дыма, образующегося при горении твердых горючих материалов в помещении

Сергей Викторович Пузач¹✉, Юрий Юрьевич Журавлев²

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

² Департамент надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В качестве опасного фактора пожара в научной и нормативной литературе учитывается только одно опасное свойство дыма — снижение видимости. Поэтому оценка времени блокирования путей эвакуации по объемной счетной концентрации твердых частиц дыма является актуальной научной задачей.

Цели и задачи. Целью работы является экспериментально-теоретическая оценка времени блокирования путей эвакуации во время пожара в помещении по объемной концентрации твердых частиц дыма. Для достижения поставленной цели необходимо провести экспериментальное исследование дымообразующей способности горючих материалов по количеству частиц дыма и получить формулу для расчета времени блокирования путей эвакуации по объемной счетной концентрации твердых частиц дыма.

Методы. Экспериментальный метод измерения количества, размеров и массы взвешенных твердых частиц в газовой среде, образующейся в маломасштабной опытной установке при горении различных веществ и материалов. Аналитический метод расчета времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара.

Результаты и их обсуждение. Предложена формула для расчета времени блокирования путей эвакуации по объемной концентрации твердых частиц дыма.

Получены экспериментальные зависимости от времени удельной массовой скорости газификации и удельные коэффициенты дымообразования по объемной счетной концентрации твердых частиц дыма с эквивалентным диаметром, меньшим 2,5 мкм, при испытаниях образцов древесины, изоляции кабелей и элементов микроэлектроники.

Представлены результаты численных экспериментов по расчету времени блокирования путей эвакуации по потере видимости в дыму и по объемной счетной концентрации твердых частиц дыма.

Обнаружено, что объемная концентрация частиц дыма может быть первым опасным фактором пожара, блокирующим пути эвакуации.

Выводы. Наиболее опасные по воздействию на организм человека во время его эвакуации при пожаре мелкодисперсные твердые частицы дыма с эквивалентным диаметром, меньшим 2,5 мкм, могут быть опасным фактором пожара, первым блокирующим пути эвакуации.

Ключевые слова: пожар; сажа; древесина; изоляция кабеля; микроэлектроника; эвакуация; токсикология

Для цитирования: Пузач С.В., Журавлев Ю.Ю. Оценка времени блокирования путей эвакуации по объемной счетной концентрации твердых частиц дыма, образующегося при горении твердых горючих материалов в помещении // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 2. С. 50–59. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.50-59

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

Estimation of the blocking time of evacuation routes based on the volume counting concentration of solid smoke particles produced by burning solid combustible materials in a room

Sergey V. Puzach¹✉, Yuri Yu. Zhuravlev²

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 Fire Safety Department of Supervision and Fire Prevention of EMERCOM of Russia, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. As a fire hazard in the scientific and regulatory literature, only one hazardous property of smoke is taken into account — reduced visibility. Therefore, estimating the blocking time of escape routes by the volumetric counting concentration of solid smoke particles is an urgent scientific task.

Aims and objectives. The aim of the work is experimental and theoretical estimation of the blocking time of evacuation routes during a fire in a room by the volume concentration of solid smoke particles. To achieve this goal, it is necessary to conduct an experimental study of the smoke-forming ability of combustible materials by the number of smoke particles and obtain a formula for calculating the time for blocking escape routes by the volumetric counting concentration of solid smoke particles.

Methods. An experimental method of measuring the amount, size and mass of suspended solids in a gaseous medium forming in a small-scale pilot plant during combustion of various substances and materials. Analytical method for calculation of evacuation route blocking time by fire hazards is used.

Results and discussion. Formula for calculation of evacuation route blocking time by volume concentration of solid smoke particles is proposed.

Experimental time dependences of the specific mass rate of gasification and specific smoke formation coefficients based on the volumetric count concentration of solid smoke particles with an equivalent diameter less than $2.5 \mu\text{m}$ were obtained during testing of specimens of wood, cable insulation, and microelectronic elements.

The results of numerical experiments on calculation of time of blocking evacuation routes due to loss of visibility in smoke and the volumetric count concentration of solid smoke particles are presented.

It was found that the volumetric concentration of smoke particles can be the first fire hazard blocking escape routes.

Conclusions. Solid smoke particles with an equivalent diameter less than $2.5 \mu\text{m}$, which are the most dangerous to the human body during evacuation in case of fire, can be a fire hazard that first blocks the escape routes.

Keywords: fire; soot; wood; cable insulation; microelectronics; evacuation; toxicology

For citation: Puzach S.V., Zhuravlev Yu.Yu. Estimation of the blocking time of evacuation routes based on the volume counting concentration of solid smoke particles produced by burning solid combustible materials in a room. *Pozharovzryvobezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(2):50-59. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.50-59 (rus).

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

Введение

Токсичность и оптические свойства газовой среды помещения при пожаре существенно зависят от размеров и концентрации мелкодисперсных частиц дыма, состоящих из сажи и твердых окислов [1–4]. При этом особое внимание уделяется вопросу расчета потери видимости в дыму как опасному фактору пожару, наиболее часто первым блокирующим пути эвакуации [5, 6].

Вышеуказанные частицы адсорбируют токсичные соединения [2, 3, 7, 8], и их попадание в дыхательные пути человека даже при кратковременном воздействии может вызвать отравление организма человека и существенное увеличение времени его эвакуации [9–12]. При этом наиболее опасными являются взвешенные частицы с эквивалентным диаметром $d \leq 2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) [13–15], что подтверждено медицинскими исследованиями [16, 17].

Из-за сложности измерения параметров процесса образования частиц дыма в настоящее время нет данных по дымообразующей способности горючих веществ и материалов по количеству частиц дыма. Поэтому в качестве опасного фактора пожара учитывается только одно опасное свойство дыма — снижение видимости [1].

Поэтому определение оценки времени блокирования путей эвакуации по объемной счетной кон-

центрации твердых частиц дыма с эквивалентным диаметром $d \leq 2,5 \mu\text{m}$ является актуальной научной задачей.

В работе [18] выполнена экспериментальная оценка объемной массовой и счетной концентрации, а также размеров твердых частиц дыма, образующихся при горении образцов древесины, изоляции кабелей и элементов микроэлектроники. Результаты вышеуказанной работы после проведения дополнительных испытаний могут быть использованы для определения дымообразующей способности рассматриваемых материалов по количеству частиц дыма.

Целью работы является экспериментально-теоретическая оценка времени блокирования путей эвакуации во время пожара в помещении по объемной концентрации твердых частиц дыма с эквивалентным диаметром $d \leq 2,5 \mu\text{m}$, образующихся при горении горючих материалов.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- провести экспериментальное исследование дымообразующей способности горючих материалов по количеству частиц дыма на примере образцов древесины, изоляции кабелей и элементов микроэлектроники;
- получить формулу для расчета времени блокирования путей эвакуации по объемной счетной концентрации твердых частиц дыма.

Математическая модель расчета времени блокирования путей эвакуации по объемной счетной концентрации твердых частиц дыма

Уравнение закона сохранения количества твердых частиц дыма в помещении без учета коагуляции (слияния) частиц, седиментации частиц дыма на поверхностях ограждающих конструкций и в отсутствие работы системы дымоудаления имеет вид [1]:

$$K_{\text{ннг}} = \frac{\Delta T}{\Delta t}, \quad (1)$$

где V — объем помещения, м^3 ;

τ — время от начала пожара, с;

$N_{\text{чм}}$ — среднеобъемная концентрация частиц дыма в помещении, $1/\text{м}^3$;

$D_{\text{ч}}$ — дымообразующая способность горючего материала по количеству частиц дыма, $1/\text{кг}$;

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

G_m — массовый расход газовой смеси, выходящей через открытые проемы помещения наружу, кг/с ;

ρ_m — среднеобъемная плотность газовой среды помещения, кг/м^3 .

На начальной стадии пожара, когда через открытые проемы помещения выходит наружу только газовая смесь помещения и нет притока внутрь наружного воздуха, массовый расход газовой смеси, выходящей через открытые проемы помещения наружу, равен [1]:

$$G_m = \frac{\Psi Q_{\text{н}}^p \eta (1 - \phi)}{c_p T_m}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{н}}^p$ — низшая рабочая теплота сгорания, Дж/кг ;

η — полнота сгорания;

ϕ — коэффициент теплопотерь;

c_p — удельная массовая теплоемкость газовой среды помещения, Дж/(кг·К) ;

T_m — среднеобъемная температура газовой среды помещения, К .

С учетом выражения (2) уравнение (1) принимает вид:

$$\frac{V}{\Psi D_{\text{ч}}} \frac{dN_{\text{чм}}}{dt} = 1 - \frac{N_{\text{чм}} V}{B D_{\text{ч}}}, \quad (3)$$

где $B = \frac{c_p \rho_o T_o V}{\eta Q_{\text{н}}^p (1 - \phi)}$ — размерный комплекс, кг .

Масса горючего материала, сгоревшего к моменту времени τ , равна [1]:

$$\int_0^{\tau} \Psi dt = M_{\tau}, \quad (4)$$

где M_{τ} — масса сгоревшего горючего материала, кг .

В соответствии с работой [1]:

$$M_{\tau} = A \tau^n, \quad (5)$$

где A — размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания и площадь пожара, кг/с^n ;

n — показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала по времени.

Уравнение (3) является обыкновенным дифференциальным уравнением с разделяющимися переменными, решение которого с учетом формулы (5) имеет вид [1]:

$$\tau = \left[\frac{B}{A} \left(1 - \frac{N_{\text{чм}} V}{B D_{\text{ч}}} \right) \right]^{1/n}. \quad (6)$$

Зависимость локальной объемной концентрации частиц на высоте рабочей зоны помещения от среднеобъемной концентрации частиц имеет следующий вид [1]:

$$\frac{(N_{\text{чм}})_{\text{кр}}}{N_{\text{чм}}} = Z, \quad (7)$$

где $(N_{\text{чм}})_{\text{кр}}$ — локальная критическая объемная концентрация частиц дыма в помещении на высоте рабочей зоны, $1/\text{м}^3$;

$Z = \frac{z_{\text{рз}}}{H} \exp \left(1,4 \frac{z_{\text{рз}}}{H} \right)$ — параметр, характеризующий распределение величин опасных факторов по высоте помещения;

$z_{\text{рз}}$ — высота рабочей зоны, м ;

H — высота помещения, м .

Тогда время блокирования путей эвакуации по объемной счетной концентрации твердых частиц дыма с учетом выражения (7) равно:

$$\tau_{\text{бл}}^{\text{ч}} = \left[\frac{B}{A} \left(1 - \frac{(N_{\text{чм}})_{\text{кр}} V}{B D_{\text{ч}} Z} \right) \right]^{1/n}, \quad (8)$$

где $\tau_{\text{бл}}^{\text{ч}}$ — время блокирования путей эвакуации по объемной счетной концентрации твердых частиц дыма, с.

Время блокирования путей эвакуации по снижению видимости в дыму равно [1]:

$$\tau_{\text{бл}}^{\text{д}} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 - \frac{V \ln(1,05 \alpha E)}{L_{\text{кр}} B D_m Z} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{n}}, \quad (9)$$

где $\tau_{\text{бл}}^{\text{д}}$ — время блокирования путей эвакуации по снижению видимости, с;

α — коэффициент отражения предметов на путях эвакуации;

E — начальная освещенность, лк ;

$L_{кр}$ — критическое значение дальности видимости, м;

D_m — удельный коэффициент дымообразования по оптической плотности дыма, m^2/kg .

Принимаем в соответствии с Приказом¹ $\varphi = 0,3$; $\alpha = 0,3$; $E = 50$ лк.

Критическое значение дальности видимости принимаем равным $L_{кр} = \sqrt{F}$ (позволяет в общем виде оценить фактическое расстояние от наиболее удаленной точки помещения до эвакуационного выхода), где F — площадь пола помещения, м.

Рассматривалось круговое распространение пожара по поверхности твердого горючего материала [1]: $n = 3$.

Экспериментальная установка и методика проведения эксперимента

Для достижения поставленной цели использовалась экспериментальная установка [19, 20]², представленная на рис. 1.

Распределение частиц дыма по их размерам и оценка их объемной концентрации определялись с использованием счетчика частиц OPC-N2 [18].

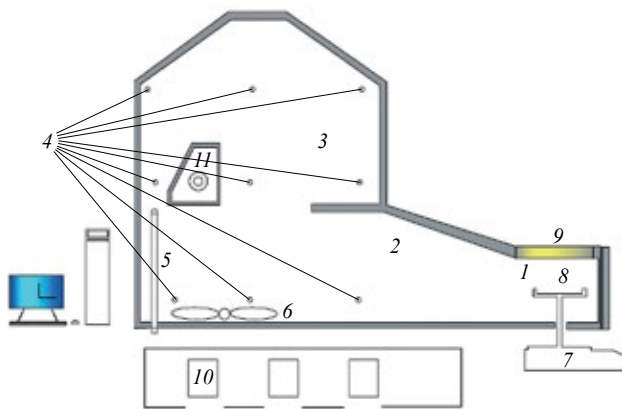


Рис. 1. Схема размещения OPC-N2 в экспериментальной установке: 1 — камера сгорания; 2 — переходной рукав; 3 — камера экспозиции; 4 — термопары; 5 — зонд отбора проб; 6 — вентилятор; 7 — весы; 8 — держатель образца; 9 — электронагревательный элемент; 10 — газоаналитическое оборудование; 11 — счетчик частиц OPC-N2

Fig. 1. Layout of the OPC-N2 in the experimental installation: 1 — combustion chamber; 2 — adapter hose; 3 — exposure camera; 4 — thermocouples; 5 — sampling probe; 6 — fan; 7 — scales; 8 — specimen holder; 9 — electric heating element; 10 — gas analytical equipment; 11 — particle counter OPC-N2

¹ 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.

² Пузач С.В., Сулейкин Е.В., Акперов Р.Г. Установка для определения пожарной опасности конденсированных материалов при их термическом разложении: Патент Российской Федерации на полезную модель № 174688. Заявка № 2017113747, приоритет полезной модели 20.04.2017 г., дата государственной регистрации 26.10.2017.



Рис. 2. Образцы древесины, кабеля и элементов микроэлектроники

Fig. 2. Specimens of wood, cable and microelectronics elements

Методика проведения эксперимента подробно приведена в работе [18].

В качестве исследуемых материалов взяты образцы древесины, изоляции кабелей и элементов микроэлектроники, которые представлены на рис. 2.

Результаты экспериментов и их анализ

Зависимости удельной массовой скорости выгорания от времени эксперимента для рассматриваемых горючих нагрузок представлены на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что удельная массовая скорость выгорания образца древесины существенно выше соответствующих величин для изоляции кабеля и элементов микроэлектроники.

Так как в соответствии с рис. 1 через счетчик частиц OPC-N2 (11) проходили не все частицы дыма, поступающие в камеру экспозиции (3), то для определения суммарного количества частиц дыма,

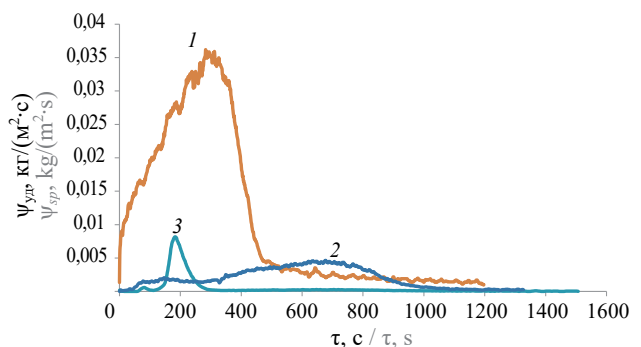


Рис. 3. Зависимости удельной массовой скорости выгорания для рассматриваемых горючих нагрузок: 1 — древесина; 2 — кабель; 3 — элементы микроэлектроники

Fig. 3. Dependencies of specific mass burn-up rate for considered combustible loads: 1 — wood; 2 — cable; 3 — microelectronics elements

находящихся в камере экспозиции за время эксперимента, применялись две приближенные оценки:

- оценка № 1:

$$S_1 = N_{\text{ч,ср}} V_k, \quad (10)$$

где S_1 — суммарное количество частиц дыма, находящееся в камере экспозиции за время эксперимента;

$N_{\text{ч,ср}}$ — средняя концентрация частиц, прошедших через счетчик частиц за время эксперимента, $1/\text{м}^3$;

V_k — объем камеры экспозиции установки (рис. 1), м^3 ;

- оценка № 2:

$$S_2 = S_s, \quad (11)$$

где S_2 — суммарное количество частиц дыма, находящееся в камере экспозиции за время эксперимента;

S_s — количество всех частиц, прошедших через счетчик частиц за время эксперимента.

Средняя объемная концентрация частиц, прошедших через счетчик частиц за время эксперимента, равна:

$$N_{\text{ч,ср}} = \frac{S_{\text{ср}}}{W \tau_s}, \quad (12)$$

где $S_{\text{ср}}$ — среднее за время эксперимента количество частиц, прошедших через счетчик частиц;

W — объемный расход вентилятора счетчика частиц, $\text{м}^3/\text{с}$;

τ_s — время эксперимента, с.

Принимаем, что $V_k = 0,5887 \text{ м}^3$ [19, 20] и $W = 1 \text{ л/мин}$ (в соответствии с паспортом счетчика частиц OPC-N2).

При этом не учитывалось количество частиц, адсорбированных на стенках камеры экспозиции.

Дымообразующая способность горючего материала по количеству частиц дыма определялась по следующим формулам:

- оценка № 1:

$$D_{\text{ч1}} = \frac{S_1}{\tau_s \int_0^{\tau_s} \Psi d\tau}; \quad (13)$$

- оценка № 2:

$$D_{\text{ч2}} = \frac{S_2}{\tau_s \int_0^{\tau_s} \Psi d\tau}. \quad (14)$$

Результаты обработки полученных экспериментальных данных по дымообразующей способности горючего материала по количеству частиц дыма с эквивалентным диаметром $d \leq 2,5 \text{ мкм}$ в соответствии с формулами (10)–(14) представлены в табл. 1.

Исходные данные для проведения численных экспериментов

Размеры помещения принимались следующими:

- площадь пола помещения изменялась в диапазоне $F = 18 \div 576 \text{ м}^2$;
- высота помещения равнялась $H = 3$ и 6 м ;
- объем помещения изменялся соответственно в пределах $V = 54 \div 3456 \text{ м}^3$.

Величина площади пола была пропорциональна 6 м — расстоянию между несущими колоннами.

Для проведения численных экспериментов рассматривались горючие нагрузки, параметры которых наиболее близки к исследуемым горючим материалам и представлены в табл. 2 ($w_{\text{пл}}$ — линейная скорость распространения пламени, м/с ; L_{O_2} — удельный коэффициент потребления кислорода).

При проведении численных экспериментов параметры изоляции кабелей и элементов микроэлектро-

Таблица 1. Дымообразующая способность горючего материала по количеству частиц дыма

Table 1. Smoke generating capacity of combustible material by the number of smoke particles

Горючий материал Combustible material	Суммарное количество частиц дыма, находящееся в камере экспозиции за время эксперимента Total smoke particles in the exposure chamber during the experiment		$D_{\text{ч}}, 1/\text{кг}$ $D_p, 1/\text{kg}$	
	S_1	S_2	$D_{\text{ч1}}$ D_{p1}	$D_{\text{ч2}}$ D_{p2}
Древесина Wood	$4,75 \cdot 10^7$	$9,54 \cdot 10^5$	$6,05 \cdot 10^9$	$1,22 \cdot 10^8$
Кабель Cable	$3,84 \cdot 10^{12}$	$1,45 \cdot 10^{11}$	$2,96 \cdot 10^{14}$	$1,11 \cdot 10^{13}$
Элементы микроэлектроники Microelectronics elements	$8,3 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^6$	$1,21 \cdot 10^{10}$	$3,5 \cdot 10^8$

Таблица 2. Параметры рассматриваемых горючих нагрузок
Table 2. Parameters of combustible loads under consideration

Параметры Parameters	Электрокабель АВВГ; ПВХ оболочка + + изоляция [1] AVVG electric cable; PVC sheath + + insulation [1]	Штабель древесины; хвойный + + лиственный лес [1] Wood stack; coniferous + + deciduous forest [1]
Q_n^p , МДж/кг Q_l^o , MJ/kg	25	13,8
$\Psi_{уд}$, кг/(м ² ·с) Ψ_{sp} , kg/(m ² ·s)	0,0244	0,0145
D_m , м ² /кг D_m , m ² /kg	635	57
$w_{пл}$, м/с w_j , m/s	0,0071	0,0585
L_{O_2}	–2,19	–1,15

ники принимались как для горючей нагрузки «Электрокабель АВВГ; ПВХ оболочка + изоляция» [1].

Рассматриваемые горючие нагрузки могут находиться как в общественных зданиях, так и в зданиях производственного назначения (например, в складах готовой продукции) (табл. 2).

Предельно допустимое значение объемной счетной концентрации частиц дыма в соответствии с ГОСТ³ равно $N_{ч,кр} = 1,0 \cdot 10^7$ 1/м³.

Таблица 3. Времена блокирования путей эвакуации по потере видимости и по достижению объемной концентрации твердых частиц дыма с диаметром $d \leq 2,5$ мкг/м³ в случае горения кабеля**Table 3.** Blocking times for escape routes by loss of visibility and by reaching the volumetric concentration of solid smoke particles with a diameter of $d \leq 2.5$ µg/m³ in the case of burning of cable

Номер Number	F , м ² F , m ²	H , м H , m	$V_{св}$, м ³ V_f , m ³	$\tau_{бл}^d$, с τ_{bs}^d , s	$\tau_{бл}^d$, с τ_{bs}^d , s			
					Оценка № 1 Estimation No. 1		Оценка № 2 Estimation No. 2	
					$N_{ч,кр} = 1,56 \cdot 10^8$ 1/м ³ $N_{p,cr} = 1,56 \cdot 10^8$ 1/м ³	$N_{ч,кр} = 1,0 \cdot 10^7$ 1/м ³ $N_{p,cr} = 1,0 \cdot 10^7$ 1/м ³	$N_{ч,кр} = 1,56 \cdot 10^8$ 1/м ³ $N_{p,cr} = 1,56 \cdot 10^8$ 1/м ³	$N_{ч,кр} = 1,0 \cdot 10^7$ 1/м ³ $N_{p,cr} = 1,0 \cdot 10^7$ 1/м ³
1	18	3	43,2	30,3	2,4	1,0	7,2	2,9
2	36	3	86,4	34,0	3,0	1,2	9,1	3,6
3	144	3	345,6	42,7	4,8	1,9	14,4	5,8
4	576	3	1382,4	53,7	7,7	3,1	22,9	9,2
5	18	6	86,4	55,7	4,4	1,8	13,1	5,2
6	36	6	172,8	62,2	5,5	2,2	16,5	6,6
7	144	6	691,2	77,7	8,7	3,5	26,1	10,5
8	576,0	6	2764,8	97,6	13,9	5,6	41,5	16,6

³ ГОСТ ИСО 14644-1–2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха. Дата введения: 2004-04-01.

Предельно допустимое значение массовой концентрации частиц дыма в соответствии с ГН⁴ для частиц размером РМ_{2,5} равно максимальной разовой концентрации $X_{кр} = 160$ мкг/м³.

В соответствии с результатами экспериментов, представленных в работе [18], предельно допустимому значению массовой концентрации частиц соответствуют следующие предельно допустимые объемные концентрации частиц ($N_{ч,кр}$, 1/м³):

- древесина: $N_{ч,кр} = 1,7 \cdot 10^8$ 1/м³;
- кабель: массовая концентрация сразу превысила предельно допустимое значение: $X = 1107,6$ мкг/м³ > $X_{кр} = 160$ мкг/м³;
- элементы микроэлектроники: $N_{ч,кр} = 1,56 \cdot 10^8$ 1/м³.

Различия в величинах предельно допустимых объемных концентрациях частиц, в первую очередь, объясняются отличием у образующихся при горении исследуемых материалов частиц их объемной формы и плотности.

Результаты численных экспериментов

Результаты расчета времен блокирования путей эвакуации по снижению видимости и по объемной концентрации твердых частиц дыма с диаметром $d \leq 2,5$ мкг/м³ для рассматриваемых горючих нагрузок представлены в табл. 3–5, где $V_{св} = 0,8 \cdot V$ — свободный объем помещения, м³.

⁴ ГН 2.1.6.2604–10. Предельные концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест : Дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338–03.

Таблица 4. Времена блокирования путей эвакуации по потере видимости и по достижению объемной концентрации твердых частиц дыма с диаметром $d \leq 2,5$ мкг/м³ в случае горения древесины

Table 4. Blocking times of escape routes by loss of visibility and by reaching the volumetric concentration of solid smoke particles with diameter $d \leq 2.5$ µg/m³ in case of burning of wood

Номер Number	$F, \text{ м}^2$ $F, \text{ m}^2$	$H, \text{ м}$ $H, \text{ m}$	$V_{\text{св}}, \text{ м}^3$ $V_f, \text{ m}^3$	$\tau_{\text{бл}}^{\text{в}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{бл}}^{\text{в}}, \text{ s}$	$\tau_{\text{бл}}^{\text{ч}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{бл}}^{\text{ч}}, \text{ s}$			
					Оценка № 1 Estimation No. 1		Оценка № 2 Estimation No. 2	
					$N_{\text{ч,кр}} = 1,56 \cdot 10^8 \text{ 1/м}^3$ $N_{\text{р,кр}} = 1,56 \cdot 10^8 \text{ 1/м}^3$	$N_{\text{ч,кр}} = 1,0 \cdot 10^7 \text{ 1/м}^3$ $N_{\text{р,кр}} = 1,0 \cdot 10^7 \text{ 1/м}^3$	$N_{\text{ч,кр}} = 1,56 \cdot 10^8 \text{ 1/м}^3$ $N_{\text{р,кр}} = 1,56 \cdot 10^8 \text{ 1/м}^3$	$N_{\text{ч,кр}} = 1,0 \cdot 10^7 \text{ 1/м}^3$ $N_{\text{р,кр}} = 1,0 \cdot 10^7 \text{ 1/м}^3$
1	18	3	43,2	20,5	30,7	10,4	—	—
2	36	3	86,4	22,7	38,6	13,1	—	—
3	144	3	345,6	28,2	61,3	20,7	—	—
4	576	3	1382,4	35,2	97,3	32,9	—	—
5	18	6	86,4	43,4	—	19,0	—	—
6	36	6	172,8	44,8	—	24,0	—	—
7	144	6	691,2	52,8	—	38,0	—	—
8	576,0	6	2764,8	64,8	—	60,4	—	—

Примечание: блокирования путей эвакуации нет.

Note: no blocking of escape routes.

Таблица 5. Времена блокирования путей эвакуации по потере видимости и по достижению объемной концентрации твердых частиц дыма с диаметром $d \leq 2,5$ мкг/м³ в случае горения элементов микроэлектроники

Table 5. Blocking times of escape routes by loss of visibility and by reaching the volumetric concentration of solid smoke particles with diameter $d \leq 2.5$ µg/m³ in case of burning of elements of electronic

Номер Number	$F, \text{ м}^2$ $F, \text{ m}^2$	$H, \text{ м}$ $H, \text{ m}$	$V_{\text{св}}, \text{ м}^3$ $V_f, \text{ m}^3$	$\tau_{\text{бл}}^{\text{в}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{бл}}^{\text{в}}, \text{ s}$	$\tau_{\text{бл}}^{\text{ч}}, \text{ с}$ $\tau_{\text{бл}}^{\text{ч}}, \text{ s}$			
					Оценка № 1 Estimation No. 1		Оценка № 2 Estimation No. 2	
					$N_{\text{ч,кр}} = 1,56 \cdot 10^8 \text{ 1/м}^3$ $N_{\text{р,кр}} = 1,56 \cdot 10^8 \text{ 1/м}^3$	$N_{\text{ч,кр}} = 1,0 \cdot 10^7 \text{ 1/м}^3$ $N_{\text{р,кр}} = 1,0 \cdot 10^7 \text{ 1/м}^3$	$N_{\text{ч,кр}} = 1,56 \cdot 10^8 \text{ 1/м}^3$ $N_{\text{р,кр}} = 1,56 \cdot 10^8 \text{ 1/м}^3$	$N_{\text{ч,кр}} = 1,0 \cdot 10^7 \text{ 1/м}^3$ $N_{\text{р,кр}} = 1,0 \cdot 10^7 \text{ 1/м}^3$
1	18	3	43,2	30,3	78,4	28,2	—	—
2	36	3	86,4	34,0	98,8	35,5	—	—
3	144	3	345,6	42,7	156,8	56,4	—	—
4	576	3	1382,4	53,7	248,9	89,5	—	—
5	18	6	86,4	55,7	—	51,7	—	—
6	36	6	172,8	62,2	—	65,1	—	—
7	144	6	691,2	77,7	—	103,4	—	—
8	576,0	6	2764,8	97,6	—	164,1	—	—

В случае горения образцов кабеля из табл. 2 видно, что время блокирования путей эвакуации по объемной счетной концентрации твердых частиц дыма меньше соответствующего времени по снижению видимости для всех размеров помещений.

При горении древесины при максимальной оценке количества образовавшихся частиц (оценка № 1) время блокирования путей эвакуации по объемной концентрации твердых частиц дыма меньше соответствующего времени по снижению видимости

для всех размеров помещений. В случае минимальной оценки количества частиц (оценка № 2) блокирования путей эвакуации по концентрации частиц не происходит.

При горении элементов микроэлектроники при максимальной оценке количества образовавшихся частиц (оценка № 1) время блокирования путей эвакуации по объемной концентрации твердых частиц дыма больше соответствующего времени по снижению видимости за исключением помещений мини-

мальных размеров ($F = 18 \text{ м}^2$ для $H = 3 \text{ м}$ и $H = 6 \text{ м}$). В случае минимальной оценки количества частиц (оценка № 2) блокирования путей эвакуации по концентрации частиц не происходит.

Выводы

Наиболее опасные по воздействию на организм человека во время его эвакуации при пожаре мелкодисперсные твердые частицы дыма с эквивалентным диаметром $d \leq 2,5 \text{ мкм}$ (PM_{2,5}, 3-я группа воздействия) могут быть опасным фактором пожара, первым блокирующим пути эвакуации.

Поэтому необходимо проведение дальнейших исследований для решения следующих научных и практических задач:

- совершенствование экспериментального метода с целью повышения точности определения размеров, а также объемных счетных и массовых концентраций частиц дыма, образующегося при горении современных горючих веществ и материалов;
- использование при расчете пожарного риска нового опасного фактора пожара — объемной счетной концентрации и размеров частиц дыма;
- разработка новых средств защиты органов дыхания человека при пожаре.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кошмаров Ю.А., Пузач С.В., Лебедченко О.С., Нгуен Т.Х. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М. : Академия ГПС МЧС России, 2021. 148 с.
2. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. М. : Стройиздат, 1990. 424 с.
3. Зотов Ю.С. Процесс задымления помещений при пожаре и разработка метода необходимого времени эвакуации людей : дис. ... канд. техн. наук. М., 1989. 273 с.
4. Purser D.A., McAllister J.L. Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat // SFPE Handbook of fire protection engineering. Edition: 5th Chapter: 63. New York : Publisher: Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_63
5. Суриков А.В., Лешенюк Н.С. Методика расчета видимости при пожаре // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2019. Т. 3. № 4. С. 412–419. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-4.412
6. Burlacu D., Georgescu A.M., Vartires A., Marinescu I.N. Experimental Evaluation of Visibility in Simulated Smoke // International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM). 2019. DOI: 10.1109/CIEM46456.2019.8937634
7. Surikov A.B., Leshenyuk H.C. Determination of building materials's smoke generating characteristics and calculating the visibility in a fire // Journal of Civil Protection. 2021. No. 5 (1). Pp. 5–19. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.5
8. Маркизова Н.Ф., Преображенская Т.Н., Башарин В.А., Гребенюк А.Н. Токсичные компоненты пожаров : Серия «Токсикология для врачей». СПб. : «ООО Издательство ФОЛИАНТ», 2008. 208 с.
9. Alarie Y. Toxicity of fire smoke // Crit Rev Toxicol. 2002. No. 32 (4). Pp. 259–89. DOI: 10.1080/20024091064246
10. Zhdanova A.O., Volkov R.V., Kuznetsov G.V., Kopylov N.P., Strizhak P.A., Syshkina E.Y. et al. Solid particle deposition of indoor material combustion products // Process Safety and Environmental Protection. 2022. Vol. 162. Pp. 494–512. DOI: 10.1016/j.psep.2022.04.033
11. Mahamuni G., Rutherford J., Davis J., Molnar E. Excitation-emission matrix spectroscopy for analysis of chemical composition of combustion generated particulate matter // Environ. Sci. Technol. 2020. Pp. 8198–8209. DOI: 10.1021/acs.est.0c01110
12. Lemkowitz S.M., Pasman H.J. A review of the fire and explosion hazards of particulates // KONA Powder and Particle Journal. 2014. Vol. 31. Pp. 53–81. DOI: 10.14356/kona.2014010
13. Невмержицкий Н.В. Методика оценки и прогнозирования экстремального загрязнения воздуха на автомагистралях мелкодисперсными взвешенными частицами PM₁₀ и PM_{2,5} : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2017. 154 с.
14. Звягинцева А.В., Павленко А.А. Основы токсикологии : учеб. пособие. Воронеж : ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. 251 с.
15. Bartzis G., Kalimeri K., Sakellaris A. Environmental data treatment to support exposure studies: The statistical behavior for NO₂, O₃, PM₁₀ and PM_{2,5} air concentrations in Europe // Environmental Research. 2020. Vol. 81. P. 108864. DOI: 10.1016/j.envres.2019.108864
16. Физиология человека : учебник / под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Медицина, 2003. 656 с.
17. Внутренние болезни. В 10 кн. Кн. 6. Болезни дыхательных путей. Болезни почек и мочевых путей : пер. с англ. / под ред. Е. Браунвальда, К.Дж. Иссельбахера, Р.Г. Петерсдорфаидр. М. : Медицина, 1995. 416 с.
18. Пузач С.В., Журавлев Ю.Ю., Болдрушкиев О.Б., Акперов Р.Г. Экспериментальная оценка объемной концентрации и размеров твердых частиц дыма, образующихся при терморазложении горючих матери-

алов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2024. № 2. С. 5–12. DOI: 10.25257/FE.2024.2.5-12

19. Пузач С.В., Акперов Р.Г. Экспериментальное определение удельного коэффициента образования монооксида углерода при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность/Fire and explosion safety. 2016. Т. 25. № 5. С. 18–25. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18-25
20. Пузач С.В., Бачурин Д.В., Акперов Р.Г., Болдрушкиев О.Б., Балаев А.А. Образование токсичных газов при горении мягких игрушек в многофункциональных торгово-развлекательных комплексах // Пожаровзрывобезопасность/Fire and explosion safety. 2023. Т. 32. № 1. С. 41–50. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.41-50

REFERENCES

1. Koshmarov Yu.A., Puzach S.V., Lebedchenko O.S., Nguyen T.Kh. Prediction of indoor fire hazards. *Academy of GPS EMERCOM of Russia*. Moscow, 2021; 148. (rus).
2. Draisdale D. Introduction to fire dynamics. *Stroyizdat*. Moscow, 1990; 424. (rus).
3. Zotov Yu.S. *The process of smoke in a fire and the development of a method for the necessary time for evacuation of people : dissertation of candidate of technical sciences*. Moscow, 1989; 273. (rus).
4. Purser D.A., McAllister J.L. Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat. *SFPE Handbook of fire protection engineering*. Edition: 5th Chapter: 63. New York, Publisher: Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_63
5. Surikov A.V., Leshenyuk N.S. Methods for calculating visibility in case of fire. *Bulletin of the University of Civil Protection of the Ministry of Emergencies of Belarus*. 2019; 3(4):412-419. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-4.412 (rus).
6. Burlacu D., Georgescu A.M., Vartires A., Marinescu I.N. Experimental Evaluation of Visibility in Simulated Smoke. *International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM)*. 2019. DOI: 10.1109/CIEM46456.2019.8937634
7. Surikov A.B., Leshenyuk H.C. Determination of building materials's smoke generating characteristics and calculating the visibility in a fire. *Journal of Civil Protection*. 2021; 5(1):5-19. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.5
8. Markizova N.F., Preobrazhenskaya T.N., Basharin V.A., Grebenyuk A.N. *Toxic components of fires : Series "Toxicology for doctors"*. St. Petersburg, LLC Publishing House FOLIANT, 2008; 208. (rus).
9. Alarie Y. Toxicity of fire smoke. *Crit Rev Toxicol*. 2002; 32(4):259-89. DOI: 10.1080/20024091064246
10. Zhdanova A.O., Volkov R.V., Kuznetsov G.V., Kopylov N.P., Strizhak P.A., Syshkina E.Y. et al. Solid particle deposition of indoor material combustion products. *Process Safety and Environmental Protection*. 2022; 162:494-512. DOI: 10.1016/j.psep.2022.04.033
11. Mahamuni G., Rutherford J., Davis J., Molnar E. Excitation-emission matrix spectroscopy for analysis of chemical composition of combustion generated particulate matter. *Environ. Sci. Technol*. 2020; 8198-8209. DOI: 10.1021/acs.est.0c01110
12. Lemkowitz S.M., Pasman H.J. A review of the fire and explosion hazards of particulates. *KONA Powder and Particle Journal*. 2014; 31:53-81. DOI: 10.14356/kona.2014010
13. Nevmerzhitsky N.V. *Methodology for assessing and predicting extreme air pollution on highways with fine suspended particles PM₁₀ and PM_{2.5} : dissertation of candidate of technical sciences*. St. Petersburg, 2017; 154. (rus).
14. Zvyagintseva A.V., Pavlenko A.A. *Fundamentals of toxicology : tutor manual*. Voronezh, FSBEI HPE "Voronezh State Technical University", 2012; 251. (rus).
15. Bartzis G., Kalimeri K., Sakellaris A. Environmental data treatment to support exposure studies: The statistical behavior for NO₂, O₃, PM₁₀ and PM_{2.5} air concentrations in Europe. *Environmental Research*. 2020; 181:108864. DOI: 10.1016/j.envres.2019.108864
16. *Human physiology : textbook* / ed. V.M. Pokrovsky, G.F. Korotko. 2nd ed., Revised and add. Moscow, Medicine, 2003: 656. (rus).
17. *Internal diseases. In 10 books. Book 6. Respiratory tract diseases. Kidney and urinary tract diseases : per. from English* / ed. E. Braunwald, K.J. Isselbacher, R.G. Petersdorf. Moscow, Medicine, 1995; 416.
18. Puzach S.V., Zhuravlev Yu.Yu., Boldrushkiev O.B., Akperov R.G. Experimental assessment of volume concentration and size of solid smoke particles formed during thermal decomposition of combustible materials. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2024; 2:5-12. DOI: 10.25257/FE.2024.2.5-12 (rus).
19. Puzach S.V., Akperov R.G. Experimental determination of the specific coefficient of release of carbon monoxide during a fire in the room. *Pozharovzryvobezопасnost /Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(5):18-25. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18-25 (rus).
20. Puzach S.V., Bachurin D.V., Akperov R.G., Boldrushkiev O.B., Balaev A.A. Generation of toxic gases during combustion of stuffed toys in multifunction shopping malls. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and explosion safety*. 2023; 32(1):41-50. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.41-50

Поступила 07.03.2025, после доработки 22.03.2025;

принята к публикации 25.03.2025

Received March 7, 2025; Received in revised form March 22, 2025;

Accepted March 25, 2025

Информация об авторах

ПУЗАЧ Сергей Викторович, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; SPIN-код: 5637-8461; ResearcherID: U-2907-2019; AuthorID: 7003537835; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

ЖУРАВЛЕВ Юрий Юрьевич, начальник отдела нормативно-технического и перспективного развития пожарной безопасности, Департамент надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России, Россия, 121357, г. Москва, ул. Ватутина, 1; SPIN-код: 8755-5560; ORCID: 0000-0001-8017-9642; e-mail: Zhur001@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Sergey V. PUZACH, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; SPIN-code: 5637-8461; ResearcherID: U-2907-2019; AuthorID: 7003537835; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Yuri Yu. ZHURAVLEV, Head of the Department of Regulatory-Technical and Prospective Development, Fire Safety Department of Supervision and Fire Prevention of EMERCOM of Russia, Vatutina St., 1, Moscow, 121357, Russian Federation; SPIN-code: 8755-5560; ORCID: 0000-0001-8017-9642; e-mail: Zhur001@mail.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interest.

Исследование комплексных ингибирующих составов для объемного пожаротушения водными средами

Ринат Валерьевич Халиков ✉, Антон Дмитриевич Корольченко

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Одной из основных проблем современного объемного пожаротушения водными средами является применение средств, имеющих один механизм тушения. Введение водорастворимых ингибиторов в водные среды является наиболее эффективным способом повышения их огнетушащей способности. Однако на данный момент отсутствуют теоретические и экспериментальные исследования по установлению повышения огнетушащей эффективности водных сред при введении двух и более ингибиторов.

Цель. Исследование влияния введения двух и более водорастворимых ингибиторов на огнетушащую эффективность водных сред.

Методика исследования. При выборе комплексных ингибирующих составов был применен метод анализа и синтеза. Для проверки адекватности составленной модели была применена методика валидации математических моделей. Для определения эффективной концентрации комплексных ингибиторов была использована теория математического анализа. Оценка эффективности введения комплексного ингибирующего состава проведена математическим моделированием в среде FDS.

Теоретические основы. Выбор комплексного ингибирующего состава осуществлен в соответствии с теорией разветвленно-цепных процессов горения.

Результаты и обсуждение. Разработана математическая модель подавления горения в замкнутом объеме комплексными водорастворимыми ингибиторами. Проведена успешная валидация данной модели на основании имеющихся экспериментальных данных. Проведено математическое моделирование подавления горения водными растворами: сульфата аммония и хлорида магния, карбоната калия и ацетата калия.

Выводы. Проведенными исследованиями установлено, что эффективная массовая концентрация комплексного ингибитора сульфата аммония и хлорида магния в водном растворе соответствует значению 3,4 %, что более чем в 4 раза меньше эффективной концентрации каждого из веществ, взятого в отдельности. Двух-компонентный ингибитор карбоната калия и ацетата калия являются взаимоподавляющими и не приводят к подавлению горения химическим ингибированием. Уменьшение времени подавления при увеличении концентрации карбоната калия и ацетата калия происходит по причине увеличения выделения углекислого газа в результате термического разложения данных ингибиторов.

Ключевые слова: температурно-активированная вода; подавление горения; моделирование; валидация

Для цитирования: Халиков Р.В., Корольченко А.Д. Исследование комплексных ингибирующих составов для объемного пожаротушения водными средами // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 2. С. 60–68. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.60-68

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

Investigation of complex inhibiting compositions for volumetric fire extinguishing with aqueous media

Rinat V. Khalikov ✉, Anton D. Korolchenko

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. One of the main problems of modern volumetric fire extinguishing with aqueous media is the use of agents having a single extinguishing mechanism. Introduction of water-soluble inhibitors into aqueous media is the most effective way to increase their extinguishing ability. However, at the moment there are no theoretical and experimental studies to establish the increase of fire extinguishing efficiency of aqueous media with the introduction of two or more inhibitors.

Purpose. To study the effect of introduction of two and more water-soluble inhibitors on the fire-extinguishing efficiency of aqueous media.

Materials and methods. The method of analysis and synthesis was applied for the selection of complex inhibitory compositions. The method of validation of mathematical models was applied to check the adequacy of the compiled model. The theory of mathematical analysis was used to determine the effective concentration of complex inhibitors. The evaluation of the effectiveness of the introduction of complex inhibitor composition was carried out by mathematical modelling in FDS environment.

Theoretical bases. The choice of complex inhibitory composition was carried out in accordance with the theory of branched chain combustion processes.

Results and discussions. A mathematical model of combustion suppression in a closed volume by complex water-soluble inhibitors has been developed. Successful validation of this model on the basis of available experimental data has been carried out. Mathematical modelling of combustion suppression by aqueous solutions of ammonium sulphate and magnesium chloride, potassium carbonate and potassium acetate was carried out.

Conclusions. It has been established by the conducted studies that the effective mass concentration of the complex inhibitor of ammonium sulphate and magnesium chloride in aqueous solution corresponds to the value of 3.4 %, which is more than 4 times less than the effective concentration of each of the substances taken separately. The two-component inhibitor of potassium carbonate and potassium acetate are mutually suppressive and do not lead to suppression of combustion by chemical inhibition. Decrease of suppression time with increasing concentration of potassium carbonate and potassium acetate occurs due to increase of carbon dioxide release, as a result of thermal decomposition of these inhibitors.

Keywords: temperature-activated water; validation; combustion suppression; modelling

For citation: Khalikov R.V., Korolchenko A.D. Investigation of complex inhibiting compositions for volumetric fire extinguishing with aqueous media *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(2):60-68. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.60-68 (rus).

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

Введение

Температурно-активированная вода (далее — ТАВ) занимает ведущее место среди технологий объемного пожаротушения благодаря своей высокой эффективности [1–3]. Данная среда представляет собой гетерогенную смесь, включающую монодисперсные паровые частицы и полидисперсные капли, что обеспечивает комбинированное воздействие на очаг возгорания [4]. Генерация струй ТАВ осуществляется через процесс взрывного вскипания, возникающий при резком снижении давления в суженной части ствола. Это приводит к мгновенному переходу перегретой воды (160–200 °С, 20 атм) из метастабильного состояния в двухфазную струю [5, 6].

Основной механизм огнетушащего действия ТАВ связан с подавлением тепловой энергии пламени. Однако максимальная результативность достигается при комбинации термического охлаждения и химического ингибирования, направленного на нейтрализацию активных радикалов, участвующих в разветвленно-цепных реакциях горения (далее — РЦП)¹ [7]. Сравнительный анализ средств пожаротушения (рис. 1) выявил, что ТАВ обеспечивает защиту более обширных замкнутых пространств.

¹ Storesund K.L. Fire incidents and potential fire incidents on Norwegian oil and gas installations. SPFR Report, 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/325869491_Fire_incidents_and_potential_fire_incidents_on_Norwegian_oil_and_gas_installations (дата обращения: 10.06.2020).

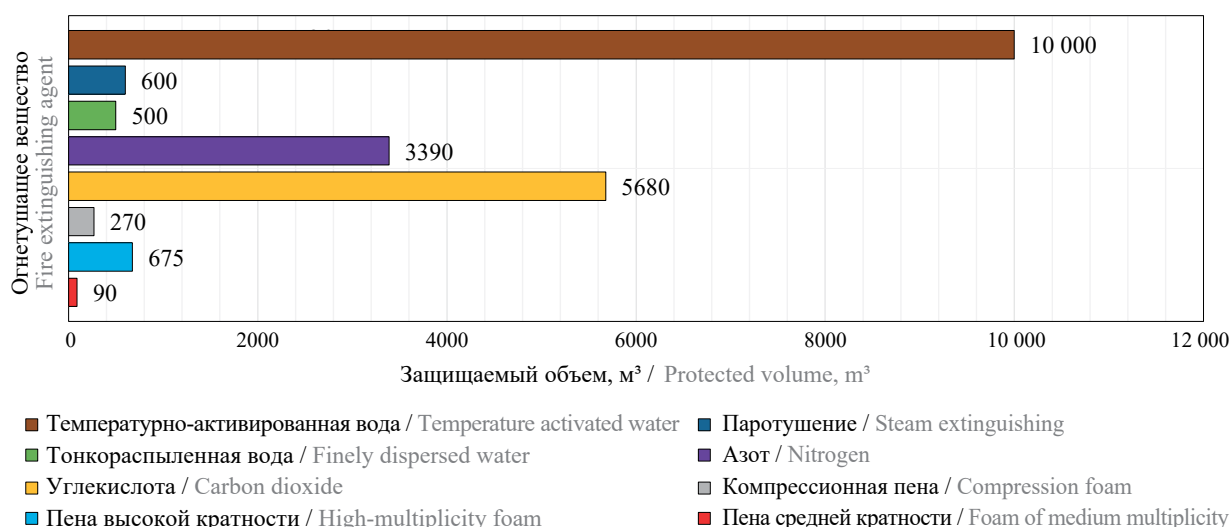


Рис. 1. Зависимость защищаемого объема от типа огнетушащего агента

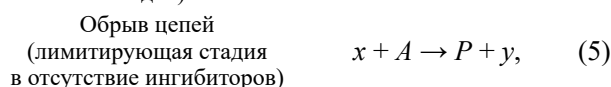
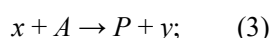
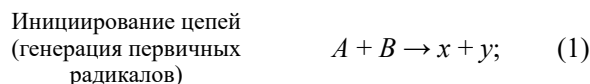
Fig. 1. Dependence of the protected volume on the type of extinguishing agent

Для поддержания эффективности пожаротушения струями ТАВ при уровне негерметичности помещения до 0,2 рекомендуется введение в перегретую воду растворимых ингибиторов, модифицирующих свойства струи [5, 8–10].

Критическим фактором успешного применения ТАВ является полное испарение капель в зоне горения, что достигается за счет оптимизации дисперсного состава [11, 12]. Технические решения, генерирующие струи с преобладанием наноразмерных капель (диаметр порядка 0,01 мкм), усиливают охлаждение и доставку ингибиторов. Однако преждевременное испарение таких частиц до контакта с пламенем может снизить термическое воздействие и ограничить транспортировку активных компонентов в очаг [13, 14].

Методика исследования и теоретические основы поставленной задачи. Выбор объекта моделирования

В рамках анализа механизмов ингибирования процессов горения ключевая роль отводится теоретическим основам РЦП, где термальный фактор саморазогрева не выступает доминирующим параметром, что исключает доминирование механизма тушения, основанного на тепловом отводе¹ [6, 15]. Математическое моделирование РЦП для горючих систем предполагает последовательность элементарных стадий, описываемых следующими кинетическими уравнениями:



где A, B — реагенты (горючее и окислитель);

x, y — монорадикалы;

z — бирадикал;

P — конечные продукты реакции.

На начальной стадии (1) формируются активные промежуточные частицы (радикалы), выступающие носителями цепей. Последующие стадии (2–5) характеризуются экспоненциальным ростом концентрации радикалов, что обуславливает развитие неуправляемого цепного процесса с разветвлением цепей [11, 16, 17]. Кинетика процесса лимитируется конкуренцией между реакциями продолжения/разветвления

цепей и их обрыва, причем скорость гибели радикалов в базовом сценарии на порядки ниже скорости их генерации.

Принцип действия ингибиторов заключается во внедрении в систему химических агентов, селективно взаимодействующих с активными центрами (радикалами) через реакции квазимолекулярного обрыва. Это приводит к снижению концентрации радикалов ниже критического порога $R_{кр}$, при котором выполняется условие:

$$k_{об} \cdot R_{кр} \geq k_{ген} \cdot [A, B], \quad (6)$$

где $k_{об}$, $k_{ген}$ — константы скоростей генерации и гибели радикалов соответственно.

Достижение данного условия индуцирует подавление цепного механизма за счет доминирования процессов дезактивации активных частиц [18–20].

Для оценки эффективности ингибирующих составов на основе водорастворимых солей в условиях замкнутого объема необходимо учитывать как физико-химические свойства растворов, так и параметры подавления пламени [21, 22]. Ниже рассмотрим основные контролируемые параметры при проведении математического моделирования процесса пожаротушения различными ингибирующими веществами.

1. Минимальная огнетушащая концентрация (далее — МГК):

$$C = \frac{m_{инг}}{V_{р-ра}}, \quad (7)$$

где $m_{инг}$ — масса ингибирующего вещества, г;

$V_{р-ра}$ — объем раствора ингибитора, поданного на тушение, л.

2. Время тушения:

$$\Delta t = t_1 - t_0, \quad (8)$$

где t_1 — момент времени окончания подачи огнетушащего состава, мин;

t_0 — момент времени начала подачи огнетушащего состава, мин.

3. Изменение средней температуры на высоте рабочей зоны в исследуемом объеме тушения:

$$\Delta T = T_0 - T_1, \quad (9)$$

где T_0 — средняя температура на высоте рабочей зоны в исследуемом объеме на момент начала подачи огнетушащего вещества, °C;

T_1 — средняя температура на высоте рабочей зоны в исследуемом объеме на момент окончания подачи огнетушащего вещества, °C.

4. Скорость снижения температуры в замкнутом объеме:

$$K_{\text{инг}} = \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (10)$$

Для моделирования подавления горения комплексными ингибиторами была выбрана камера размерами $2 \times 2 \times 2$ м, суммарным объемом 8 м³ (рис. 2). В качестве горючей нагрузки был выбран очаг 5В, установленный в центральной части камеры на уровне нижней стенки, в соответствии с ГОСТ². Датчики температуры, давления, концентрации кислорода были размещены на высоте 1 м по периметру и в центральной части.

Выбор комплексных ингибирующих водорастворимых солей были обусловлен экспериментально доказанной ингибирующей способностью каждого из веществ в отдельности и отсутствием токсичности [23–25]. В рамках моделирования была осуществлена подача следующих комплексных ингибирующих составов:

1. 15%-ный раствор K_2CO_3 (далее — карбонат калия).

2. 25%-ный раствор CH_3COOK (далее — ацетат калия).
3. 15%-ный раствор $(NH_4)_2SO_4$ (далее — сульфат аммония).
4. 15%-ный раствор $MgCl_2$ (далее — хлорид магния).
5. Карбонат калия и ацетат калия, массовое соотношение 1:1.
6. Сульфат аммония и хлорид магния, массовое соотношение 1:1.

Концентрации ингибиторов (1–4) в растворе ТАВ были выбраны исходя из уставленных ранее в натурных экспериментах и необходимых для проведения валидации разработанной модели с экспериментальными данными [26]. Эффективные концентрации ингибиторов (5, 6) определялись в ходе математического моделирования. Подача раствора ингибитора осуществлялась через форсунку с расходом 5 г/с. Распыление осуществлялось так, что 60 % всех капель имело размер капель около 3,2 мкм. Время свободного горения бензина выдерживалось 60 с, после этого происходила подача огнетушащего состава.

Результаты и обсуждения

Рассмотрение результатов моделирования было разделено на два блока:

- проведение валидации разработанной модели с экспериментальными данными;
- определение эффективных концентраций комплексных ингибиторов в растворе ТАВ.

В первом блоке рассматривается зависимость среднеобъемной температуры в камере сгорания от времени для всех ингибиторов в отдельности (рис. 3). Данные, полученные при моделировании, были проанализированы и сведены в таблицу.

Анализ рис. 3 и таблицы позволяет сделать вывод, что наибольшей эффективностью обладает 25%-ный раствор ацетата калия, стоит отметить, что концентрация активного вещества в растворе является наибольшей среди исследуемых образцов. Наименьшей эффективностью среди представленных образцов обладает 15%-ный раствор карбоната калия. Анализ результатов моделирования показал высокую сходимость с экспериментальными данными, адекватность разработанной модели составляет не менее 95 %, что является удовлетворительным для продолжения дальнейших этапов исследования в рамках текущей работы.

Для определения эффективных концентраций карбоната калия и ацетата калия с массовым соотношением 1:1 было проведено моделирование подавления горения при следующих концентрациях: 15, 20, 22,5, 25 % (рис. 5). Определение эффективных концентраций сульфата аммония и хлорида магния

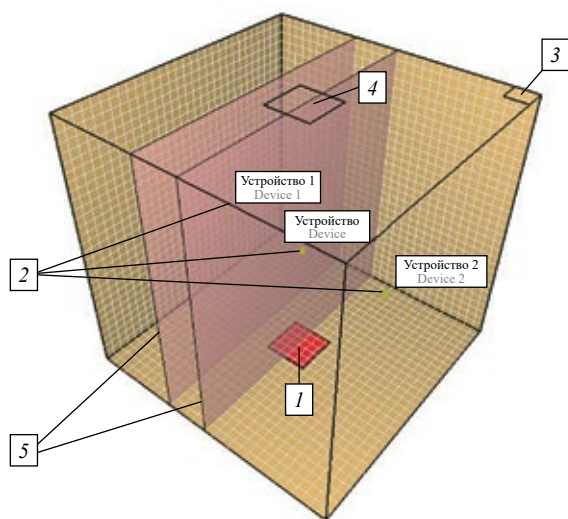


Рис. 2. Камера для моделирования эффективности подавления горения водорастворимыми ингибиторами: 1 — моделируемый очаг 5В; 2 — датчики температуры, давления, концентрации кислорода; 3 — впускной/выпускной клапан продувки воздухом объема камеры; 4 — форсунка подачи растворов ингибитора; 5 — 2D-сечения температуры и давления

² ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний.

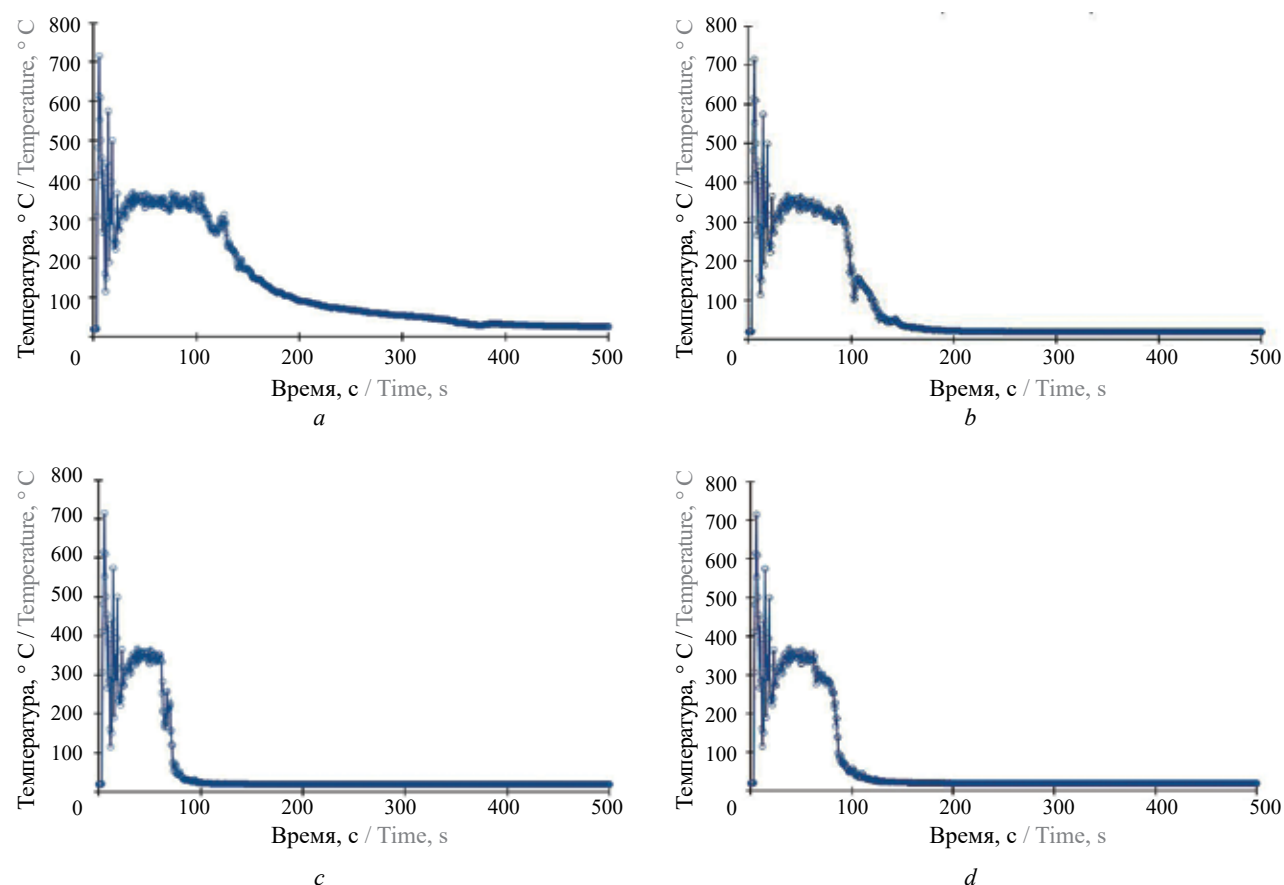


Рис. 3. Зависимость среднеобъемной температуры в камере сгорания от времени: *a* — 15%-ный раствор карбоната калия; *b* — 25%-ный раствор ацетата калия; *c* — 15%-ный раствор сульфата аммония; *d* — 15%-ный раствор хлорида магния
Fig. 3. Time dependence of the average volume temperature in the combustion chamber: *a* — 15 % potassium carbonate solution; *b* — 25 % potassium acetate solution; *c* — 15 % ammonium sulfate solution; *d* — 15 % magnesium chloride solution

Анализ эффективности подавления горения в камере сгорания различными ингибирующими составами

Analysis of combustion suppression efficiency in the combustion chamber by different inhibiting compositions

Ингибитор Inhibitor	Время тушения Δt , с Extinguishing time Δt , s	Изменение средней температуры на высоте рабочей зоны ΔT , °C Change in average temperature at the height of the working area ΔT , °C	Скорость снижения температуры в замкнутом объеме $K_{инг}$, °C/с, Rate of temperature decrease in the closed K_{inh} , °C/sec
15%-ный раствор карбоната калия 15 % potassium carbonate solution	60,5	365	6,03
25%-ный раствор ацетата калия 25 % potassium acetate solution	20,6	440	21,36
10%-ный раствор сульфата аммония 10 % ammonium sulphate solution	32,3	415	12,84
7%-ный раствор хлорида магния 7 % magnesium chloride solution	25,7	310	12,06

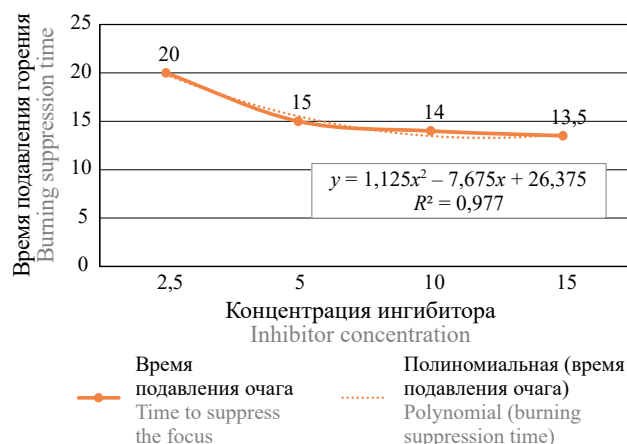


Рис. 4. Зависимость времени подавления горения в камере сгорания от концентрации сульфата аммония и хлорида магния
Fig. 4. Dependence of combustion suppression time in the combustion chamber on the concentration of ammonium sulphate and magnesium chloride

с массовым соотношением 1:1 было проведено моделированием подавления горения при следующих концентрациях: 2,5, 5, 10, 15 % (рис. 4).

Для определения эффективной концентрации был использован математический анализ с нахождением экстремума функции, обозначенного на рисунке касательной линией. Значение абсциссы точки экстремума функции соответствует эффективной концентрации для исследуемого состава. Для графика функции, представленного на рис. 4 на отрезке от 2,5 до 15, экстремум функции соответствует точке (3,4; 13,2). То есть для подавления горения водным раствором сульфата аммония и хлорида магния, взятого 1:1, эффективная массовая концентрация соответствует значению 3,4 %.

Рассмотрим график времени подавления горения в камере сгорания от концентрации карбоната калия и ацетата калия, представленный на рис. 5. Данная зависимость имеет 2 точки экстремума, однако физического смысла данные точки не имеют, так как при резком повышении концентрации комплексного ингибитора время подавления изменяется незначительно. Более того, стоит отметить, что время подавления горения данным комплексным составом больше, чем каждого из ингибиторов, взятых в отдельности при

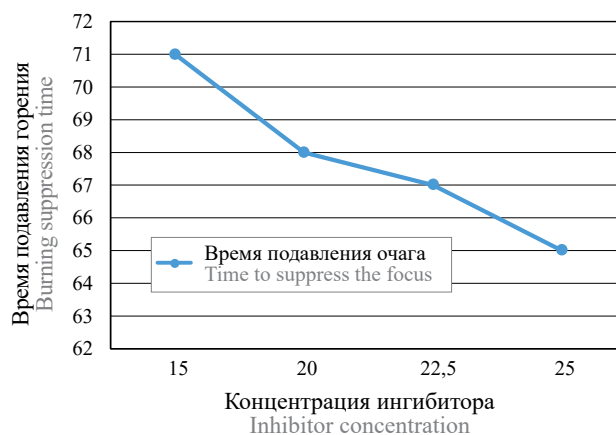


Рис. 5. Зависимость времени подавления горения в камере сгорания от концентрации карбоната калия и ацетата калия
Fig. 5. Dependence of combustion suppression time in the combustion chamber on the concentration of potassium carbonate and potassium acetate

соответствующих концентрациях. Соответственно, можно предположить, что данные ингибиторы являются взаимоподавляющими, а уменьшение времени подавления при увеличении концентрации происходит по причине увеличения выделения углекислого газа в результате термического разложения данных ингибиторов.

Выводы

В рамках исследования была разработана модель подавления горения комплексными ингибиторами, проведена ее валидация, используя имеющиеся экспериментальные данные. Были проведены исследования по эффективности подавления горения двухкомпонентными ингибиторами:

1. Сульфат аммония и хлорид магния.
2. Карбонат калия и ацетат калия.

Установлено, что эффективная массовая концентрация сульфата аммония и хлорида магния в водном растворе соответствует значению 3,4 %, что более чем в 4 раза меньше эффективной концентрации каждого из веществ, взятого в отдельности. Двухкомпонентные ингибиторы карбоната калия и ацетата калия являются взаимоподавляющими и не приводят к подавлению горения химическим ингибированием.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Babrauskas V. Ignition handbook : principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science. Issaquah : Fire Science Publishers, 2003. 1116 p.
2. Levchik S., Piotrowski A., Weil E., Yao Q. New developments in flame retardancy of epoxy resins // Polymer Degradation and Stability. 2005. No. 88 (1). Pp. 57–62. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2004.02.019
3. Amor H.B., Elaoud A., Salah N.B., Elmoueddeb K. Effect of Magnetic Treatment on Surface Tension and Water Evaporation // International Journal of Advance Industrial Engineering. 2017. No. 5. Pp. 119–124. DOI: 10.14741/Ijae/5.3.4

4. Роенко В.В., Халиков Р.В. Пожаровзрывобезопасность замкнутых пространств объектов газокomppressorных станций // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 1. С. 30–35. DOI: 10.25257/FE.2020.1.30-35
5. Шмаков А.Г., Коробейничев О.П., Шварцберг В.М., Якимов С.А., Князьков Д.А., Комаров В.Ф. и др. Исследование фосфорорганических, фторорганических, металлсодержащих соединений и твердотопливных газогенерирующих составов с добавками фосфорсодержащих соединений в качестве эффективных пламегасителей // Физика горения и взрыва. 2006. Т. 42. № 6. С. 64–73. EDN OCSBER.
6. Пожаркова И.Н., Елфимова М.В., Лагунов А.Н. Моделирование пожаров в машинных отделениях объектов теплоэнергетического комплекса // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 1. С. 39–45. EDN ZFCUSL.
7. Азатян В.В. Особенности физико-химических механизмов и кинетических закономерностей горения, взрыва и детонации газов // Кинетика и катализ. 2020. № 3. Т. 61. С. 291–311. DOI: 10.1134/S0023158420030039
8. Котова Д.Л., Крысанова Т.А., Новикова Л.А., Бельчинская И.Л., Давыдова Е.Г. Об особенностях влияния слабого импульсного магнитного последствия на гидратационные свойства алюмосиликатов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2020. № 2. Т. 20. С. 166–174. DOI: 10.17308/sorpchrom.2020.20/2771
9. Азатян В.В., Шебеко Ю.Н., Болодьян И.А., Навценя В.Ю. Влияние разбавителей различной химической природы на концентрационные пределы распространения пламени в газовых смесях // Физика горения и взрыва. 2006. Т. 42. № 6. С. 96–102. EDN OCSBGD.
10. Liu H., Wang F. Research on N₂-inhibitor-water mist fire prevention and extinguishing technology and equipment in coal mine goaf // PLoS ONE. 2019. No. 14 (9). Pp. 1–21. DOI: 10.1371/journal.pone.0222003
11. Azatyan V.V., Wagner G.G., Vedeshkin G.K. Suppression of Detonations by Efficient Inhibitors. Gaseous and Heterogeneous Detonations. Moscow : ENAS Publishers, 1999. Pp. 331–336.
12. Warnatz J., Maas U., Dibble R.W. Combustion: physical and chemical fundamentals, modelling and simulation, experiments, pollutant formation with 14 tables. Einheitssacht : Tech-nische Verbrennung, 2018. 15 p. DOI: 10.1007/978-3-540-45363-5
13. Fleming J.W., Williams B.A., Sheinson R.S. Suppression effectiveness of aerosols: the effect of size and flame type // Navy Technology Center for Safety and Survivability Combustion Dynamics Section. 2019. 21 p. DOI: 10.6028/NIST.SP.984.4
14. Antonov D.V., Fedorenko R.M., Strizhak P.A. Child droplets produced by micro-explosion and puffing of two-component droplets // Applied Thermal Engineering. 2020. Vol. 164. P. 114501. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114501. EDN ETRVGA.
15. Gottuk D.T., Gott J.E., Williams F.W. Fire dynamic of spill fires Spill Fires : An Experimental Study. 2000. Pp. 1–36.
16. Тоцкий Д.В., Шинкаренко Д.Н., Петренко Е.Н., Романцова О.А., Захарова Е.С. Исследование ингибиторов нового поколения : Междунар. науч.-практ. конф. «От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК». 2022.
17. Роенко В.В., Храмов С.П., Кармес А.П., Чистяков Т.И., Музыченко А.С., Кочетыгов В.А. Опыт применения и совершенствование технологии температурно-активированной воды для тушения пожаров и предупреждения чрезвычайных ситуаций // Технологии техносферной безопасности. 2022. Вып. 2 (96). С. 34–52. DOI: 10.25257/TTS.2022.2.96.34-52. EDN WNWQWN.
18. Халиков Р.В. Объемное пожаротушение газокomppressorных станций температурно-активированной водой с водорастворимыми ингибиторами : дис. ... канд. техн. наук. 2024. 134 с. EDN RUKIWD.
19. Корольченко Д.А., Пузач С.В. Учет механизма тушения пламени в интегральных и зонных моделях расчета динамики опасных факторов пожара в помещении // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 78–87. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.78-87
20. Корольченко Д.А., Пузач С.В. Оценка механизмов тушения горючих жидкостей тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 1. С. 54–63. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.54-63
21. Чистяков Т.И. Применение температурно-активированной воды при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики : дис. ... канд. техн. наук. 2020. 277 с.
22. Аксенов С.Г., Кильдибаев Р.М. Применение температурно-активированной воды при тушении электроустановок под напряжением на объектах энергетики // Международный электронный журнал «Устойчивое развитие: наука и практика». 2024. № 2 (38). С. 27–30.
23. Роенко В.В., Халиков Р.В., Кудрин А.Н. Исследование объемного пожаротушения температурно-активированной водой при введении ингибирующих солей // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2022. № 1. С. 5–11. DOI: 10.25257/FE.2022.1.5-11. EDN SFLEUX.
24. Роенко В.В., Чистяков Т.И., Тараканов Д.В., Халиков Р.В. Оценка электропроводимости струй температурно-активированной воды с дозированием ингибирующей соли для тушения электрооборудования

- газокомпрессорных станций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 1. С. 64–74. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.64-74. EDN ANOFSS.
25. Роечко В.В., Кармес А.П., Храмов С.П., Колосков А.А. Метод тушения лесных пожаров температурно-активированной водой : мат. науч.-практ. конф. с Междунар. участием, посвящ. 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России. М. : Академия Государственной противопожарной службы, 2024. С. 262–267. EDN OZBKCO.
26. Роечко В.В., Халиков Р.В., Храмов С.П., Кармес А.П. Моделирование процесса объемного пожаротушения струями температурно-активированной воды // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2021. № 3. С. 21–29. DOI: 10.25257/FE.2021.3.21-29. EDN NEATGY.

REFERENCES

- Babrauskas V. *Ignition handbook : principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science*. Issaquah, Fire Science Publishers, 2003; 1116.
- Levchik S., Piotrowski A., Weil E., Yao Q. New developments in flame retardancy of epoxy resins. *Polymer Degradation and Stability*. 2005; 88(1):57-62. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2004.02.019
- Amor H.B., Elaoud A., Salah N.B., Elmoueddeb K. Effect of Magnetic Treatment on Surface Tension and Water Evaporation. *International Journal of Advance Industrial Engineering*. 2017; 5:119-124. DOI: 10.14741/Ijae/5.3.4
- Roenko V.V., Khalikov R.V. Fire and explosion safety of enclosed spaces of facilities of gas compressor stations. *Fires and emergencies: prevention, elimination*. 2020; 1:30-35. DOI: 10.25257/FE.2020.1.30-35 (rus).
- Shmakov A.G., Korobeynichev O.P., Shvartsberg V.M., Yakimov S.A., Knyazkov D.A., Komarov V.F. et al. Investigation of organophosphorus, organofluorine, metal-containing compounds and solid-fuel gas-generating compositions with additives of phosphorus-containing compounds as effective flame retardants. *Physics of flame and explosion*. 2006; 42(6):64-73. EDN OCSBEP. (rus).
- Pozharkova I.N., Elfimova M.V., Lagunov A.N. Modelling fires in engine rooms of thermal power complex facilities. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2019; 1:39-45. EDN ZFCUSL. (rus).
- Azatyan V.V. Physico-chemical mechanisms and kinetic patterns of flame, explosion and detonation of gases. *Kinetics and catalysis*. 2020; 3(61):291-311. DOI: 10.1134/S0023158420030039 (rus).
- Kotova D.L., Krysanova T.A., Novikova L.A., Belchinskaya I.L., Davydova E.G. The influence of a weak pulsed magnetic aftereffect on the hydration properties of aluminosilicates. *Sorption and chromatographic processes*. 2020; 2(20):166-174. DOI: 10.17308/sorpchrom.2020.20/2771 (rus).
- Azatyan V.V., Shebeko Yu.N., Bolodyan I.A., Navtsenya V.Yu. The influence of diluents of various chemical nature on the concentration limits of flame propagation in gas mixtures. *Physics of combustion and explosion*. 2006; 42(6):96-102. EDN OCSBGD. (rus).
- Liu H., Wang F. Research on N₂-inhibitor-water mist fire prevention and extinguishing technology and equipment in coal mine goaf. *PLoS ONE*. 2019; 14(9):1-21. DOI: 10.1371/journal.pone.0222003
- Azatyan V.V., Wagner G.G., Vedeshkin G.K. Suppression of Detonations by Efficient Inhibitors. *Gaseous and Heterogeneous Detonations*. Moscow, ENAS Publishers, 1999; 331-336.
- Warnatz J., Maas U., Dibble R.W. Combustion: physical and chemical fundamentals, modelling and simulation, experiments, pollutant formation with 14 tables. *Einheitssacht : Technische Verbrennung*. 2018; 15. DOI: 10.1007/978-3-540-45363-5
- Fleming J.W., Williams B.A., Sheinson R.S. Fleming Suppression effectiveness of aerosols: the effect of size and flame type. *Navy Technology Center for Safety and Survivability Combustion Dynamics Section*. 2019; 21. DOI: 10.6028/NIST.SP.984.4
- Antonov D.V., Fedorenko R.M., Strizhak P.A. Child droplets produced by micro-explosion and puffing of two-component droplets. *Applied Thermal Engineering*. 2020; 164:114501. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114501. EDN ETRVGA.
- Gottuk D.T., Gott J.E., Williams F.W. *Fire dynamic of spill fires Spill Fires: An Experimental Study*. 2000; 1-36.
- Trotsky D.V., Shinkarenko D.N., Petrenko E.N., Romantsova O.A., Zakharova E.S. Investigation of new generation inhibitors : *International Scientific and Practical Conference "From modernization to advanced development: ensuring competitiveness and scientific leadership of the agroindustrial complex"*. 2022.
- Roenko V.V., Khramtsov S.P., Karmes A.P., Chistyakov T.I., Muzychenko A.S., Kochetygov V.A. Application experience and aspects of improving the temperature activated water technology for extinguishing fires and preventing emergencies. *Technology of technosphere safety*. 2022; 2(96):34-52. DOI: 10.25257/TTS.2022.2.96.34-52. EDN WNWQWN. (rus).
- Khalikov R.V. *Volumetric fire extinguishing of gas compressor stations with temperature-activated water with water-soluble inhibitors : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences*. 2024; 134. EDN RUKIWD. (rus).

19. Korolchenko D.A., Puzach S.V. Introduction of a flame suppression pattern into integrated and zone models used to analyze the dynamics of hazardous factors of indoor fires. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):78-87. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.78-87 (rus).
20. Korolchenko D.A., Puzach S.V. The assessment of extinction mechanisms involving water mist applied to combustible liquids. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(1):54-63. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.54-63 (rus).
21. Chistyakov T.I. *Application of temperature-activated water in extinguishing live electrical installations at energy facilities : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences*. 2020; 277. (rus).
22. Aksenov S.G., Kildibayev R.M. Application of temperature-activated water in fire extinguishing for electrical installations under voltage at power facilities. *Network scientific publication "Sustainable development: design and management"*. 2024; 2(38):27-30. (rus).
23. Roenko V.V., Khalikov R.V., Kudrin A.N. Total flooding by temperature-activated water with inhibiting salts. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2022; 1:5-11. DOI: 10.25257/FE.2022.1.5-11. EDN SFLEUX. (rus).
24. Roenko V.V., Chistyakov T.I., Tarakanov D.V., Khalikov R.V. Assessment of the electrical conductivity of thermally activated water jets containing injections of inhibiting salt used to extinguish electrical equipment at gas compressor stations. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(1):64-74. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.01.64-74. EDN ANOFSS. (rus).
25. Roenko V.V., Karmes A.P., Khramtsov S.P., Koloskov A.A. Method of extinguishing forest fires with temperature-activated water : *Materials of a scientific and practical conference with international participation dedicated to the 90th anniversary of the founding of the Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia*. Moscow, Academy of the State Fire Service, 2024; 262-267. EDN OZBKCO. (rus).
26. Roenko V.V., Khalikov R.V., Khramtsov S.P., Karmes A.P. Modelling of flooding by temperature-activated water sprays. *Fires and emergencies: prevention, elimination*. 2021; 3:21-29. DOI: 10.25257/FE.2021.3.21-29. EDN NEATGY. (rus).

Поступила 20.03.2025, после доработки 11.04.2025;

принята к публикации 14.04.2025

Received March 20, 2025; Received in revised form April 11, 2025;

Accepted April 14, 2025

Информация об авторах

ХАЛИКОВ Ринат Валерьевич, к.т.н., старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве (КБС), Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; SPIN-код: 2007-4793; AuthorID: 1045928; ORCID: 0000-0002-0842-4989; e-mail: vokilah@rambler.ru

КОРОЛЬЧЕНКО Антон Дмитриевич, заведующий сектором испытаний НИЦ «Взрывобезопасность» Института комплексной безопасности в строительстве (ИКБС), старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве (КБС), соискатель на ученую степень кандидата наук, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; ORCID: 0000-0002-1383-574X; РИНЦ ID: 890113; ScopusID: 57215919375; WoS ResearcherID: E-3295-2017; e-mail: Anton.Korolchenko@ikbs-mgsu.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Rinat V. KHALIKOV, Cand. Sci. (Eng.), senior lecturer at the department of integrated safety in construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 2007-4793; AuthorID: 1045928; ORCID: 0000-0002-0842-4989; e-mail: vokilah@rambler.ru

Anton D. KOROLCHENKO, head of the testing sector of the explosion safety research center, senior lecturer of department of integrated safety in construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-1383-574X; ID RSCI: 890113; ScopusID: 57215919375; WoS ResearcherID: E-3295-2017; Anton.Korolchenko@ikbs-mgsu.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflict of interest.

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025. Т. 34. № 2. С. 69–84
POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2025; 34(2):69-84

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.84

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2025.34.02.69-84>

До основания, а затем... Реформа технического регулирования и проблемы обеспечения пожарной безопасности в условиях современного нормативно-правового поля

Алексей Сергеевич Барановский¹✉, Евгений Ефимович Кирюханцев²,
Евгений Александрович Мешалкин³

¹ 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

² ООО «ОСК Групп», г. Москва, Россия

³ Федеральная палата пожарно-спасательной отрасли, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Нормативному регулированию обеспечения пожарной безопасности уделяется большое внимание. Однако процесс формирования новой нормативно-технической базы и применение соответствующих требований имеет ряд проблем.

Цели и задачи. Целью статьи является исследование проблем комплекса нормативных требований по обеспечению пожарной безопасности, а также анализ проблем и эффективности их применения, включая концепцию риск-ориентированного подхода, расчетных методов и инструментария в виде специальных технических условий.

Основная часть. Рассмотрены предпосылки возникновения новой нормативно-технической базы в области обеспечения пожарной безопасности. Описаны проблемы каждой из частей существующей системы: правовой составляющей, федеральных законов, нормативных документов, расчетных методов и специальных технических условий. Выявлены противоречия и недостатки существующего риск-ориентированного подхода. Предложены пути решения указанных проблем и сформулированы соответствующие подходы.

Выводы. Подход к обеспечению пожарной безопасности, заложенный в виде основы в концепцию существующей нормативно-правовой базы в области пожарной безопасности, не должен основываться только на нормах, расчетах и в целом на технических требованиях. Значительной его частью, которая в настоящее время требует серьезной проработки и реализации, является правовая составляющая, включающая важнейший компонент в виде контроля (надзора). Это позволит значительно оптимизировать и улучшить положение дел не только в строительной отрасли, но и в других отраслях экономики, и вывести подход к системе обеспечения пожарной безопасности на качественно новый уровень с учетом сложившихся экономических и политических реалий.

Ключевые слова: пожарная безопасность; риск-ориентированный подход; нормативные требования; расчет пожарного риска; специальные технические условия

Для цитирования: Барановский А.С., Кирюханцев Е.Е., Мешалкин Е.А. До основания, а затем... Реформа технического регулирования и проблемы обеспечения пожарной безопасности в условиях современного нормативно-правового поля // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 2. С. 69–84. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.69-84

✉ Барановский Алексей Сергеевич, e-mail: komnata110@yandex.ru

To the core, and then... Technical regulation reform and fire safety issues in the context of the modern regulatory framework

Alexey S. Baranovsky¹✉, Evgeniy E. Kiryuhantsev², Evgeniy A. Meshalkin³

¹ 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

² LLC "USC Group", Moscow, Russian Federation

³ Federal Chamber of Fire and Rescue Industry, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Much attention is paid to the regulatory regulation of fire safety. However, the process of forming a new regulatory and technical framework and applying the relevant requirements has a number of problems.

Goals and objectives. The purpose of the paper is to study the problems of a set of regulatory requirements for fire safety, as well as to analyze the problems and effectiveness of their application, including the concept of a risk-based approach, calculation methods and tools in the form of special technical specifications.

The main part. The prerequisites for the emergence of a new regulatory and technical framework in the field of fire safety are considered. The problems of each of the parts of the existing system are described: the legal component, federal laws, regulatory documents, calculation methods and special technical conditions. The contradictions and disadvantages of the existing risk-based approach are revealed. Solutions to these problems are proposed and appropriate approaches are formulated.

Conclusions. The approach to ensuring fire safety, laid as a basis in the concept of the existing regulatory framework in the field of fire safety, should not be based only on standards, calculations and, in general, on technical requirements. A significant part of it, which currently requires serious study and implementation, is the legal component, which includes the most important component in the form of control (supervision). This will significantly optimize and improve the situation not only in the construction industry, but also in other sectors of the economy, and bring the approach to the fire safety system to a qualitatively new level, taking into account the prevailing economic and political realities.

Keywords: fire safety; risk-based approach; regulatory requirements; fire risk calculation; special technical conditions

For citation: Baranovsky A.S., Kiryuhantsev E.E., Meshalkin E.A.. To the core, and then... Technical regulation reform and fire safety issues in the context of the modern regulatory framework. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(2):69-84. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.02.69-84 (rus).

✉ Alexey Sergeevich Baranovsky, e-mail: komnata110@yandex.ru

Введение. Актуальность вопроса

Проблемы нормирования в области пожарной безопасности при переходе к новой системе в 2008 г. неоднократно обсуждались широким кругом специалистов в рамках многочисленных дискуссий [1–4]. Авторами настоящей публикации был сделан ряд докладов на указанную тему с акцентом на требования норм в части обеспечения безопасной эвакуации людей [5–7]. За истекший период нормативно-правовая база в области пожарной безопасности и подходы, на которых она основана, значительно менялись, но большинство проблем, как следует из практики, остались теми же.

Безусловно, за это время произошло и много позитивных сдвигов, тем не менее, положение дел в строительной и других отраслях, с точки зрения обеспечения пожарной безопасности, почти не изменилось. Понятно, что в существующих политических и экономических реалиях такое положение дел

совсем не способствует эффективному развитию экономики нашей страны, а главное, почти никак не влияет на ситуацию с безопасностью людей при пожарах (рис. 1, 2).

Как показано выше, данные статистики за последние годы изменились незначительно, что свидетельствует об актуальности рассматриваемого вопроса и реальном наличии проблем. При детальном их рассмотрении можно выявить необходимые направления деятельности для повышения уровня пожарной безопасности в стране и, как следствие, обеспечения безопасности людей при пожарах. Кроме того, это поможет решить ряд важных вопросов, связанных с эффективностью разработки и рассмотрения проектной и иной документации при строительстве и эксплуатации зданий различного назначения.

В настоящей статье проведен анализ, а также приведены наиболее яркие примеры существующих проблем и парадоксов в области обеспечения пожарной безопасности. Немаловажной частью

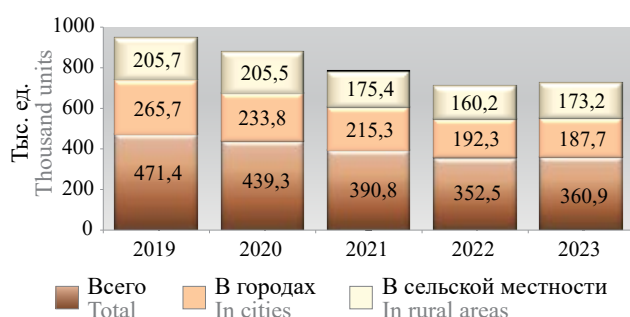


Рис. 1. Количество пожаров в Российской Федерации в 2019–2023 гг.

Fig. 1. Number of fires in the Russian Federation in 2019–2023

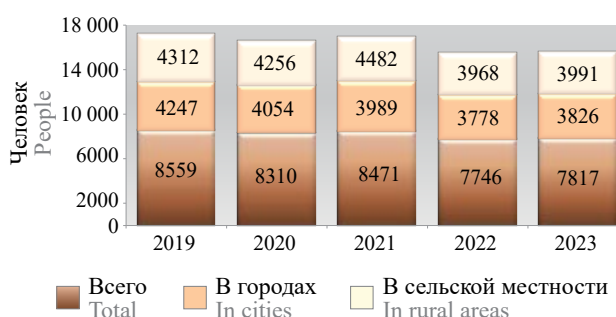


Рис. 2. Количество людей, погибших при пожарах в 2019–2023 гг.

Fig. 2. Number of people killed in fires in 2019–2023

статьи являются предложения авторов возможных путей решения затронутых проблем. Представленная статья не претендует на статус истины, являясь мнением отдельных специалистов в рамках научной работы. Вместе с тем она была выполнена максимально объективно.

Правовая составляющая

Основы госполитики

Вопросы обеспечения пожарной безопасности регулируются достаточно большим числом нормативных правовых актов. При этом, не вдаваясь в чисто юридические нюансы, можно отметить несколько парадоксов и деталей, явно бросающихся в глаза.

Так, текущая концепция деятельности МЧС России отражена в Основах государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года [8].

Примечательно, что в качестве первоочередных целей п. 12 данного документа декларирует, что целью госполитики в области защиты от ЧС является обеспечение устойчивого социально-экономического развития и лишь далее идет речь об обеспечении «приемлемого уровня безопасности жизнедеятельности населения в чрезвычайных ситуациях». На это обращали внимание некоторые специалисты еще на этапе подготовки проекта указанных Основ [9], однако данное направление, явно относящееся к области деятельности иных министерств, так и осталось в виде приоритетной цели указанного документа. Соответственно поставленным целям формулируются и задачи. Нет смысла подробно их описывать в рамках настоящей статьи, но можно лишь отметить, что повышение уровня

защиты людей стоит среди них не на первом месте. Тогда как описание выполнения этих задач включает в свой состав такие популярные термины, как инновационные и авиационно-спасательные технологии, робототехнические комплексы и т.п. Вместе с тем совершенно отсутствует упоминание об элементарных решениях и технологиях, проверенных временем и практикой, но до которых до сих пор «не доходили руки» (развитие и внедрение пожарной сигнализации и систем оповещения на основе существующей аппаратной базы, надзорная и профилактическая работа и т.д.). При этом существенное внимание в рамках указанных Основ уделяется деятельности органов управления и конкретно «повышению эффективности управления рисками в ЧС», что само по себе является задачей настолько общего характера, что затрудняет даже ее более конкретную формулировку, не говоря уже о ее выполнении.

Одной из задач, поставленных Основами, является совершенствование нормативно-правовой базы, однако и здесь какая-либо конкретика отсутствует — нет заданных направлений движения в области совершенствования. Соответственно, совершенствование, с точки зрения выполнения задачи, может быть абсолютно любым как задача риторическая.

Что же касается такой важной составляющей деятельности как «надзор», то, к сожалению, речи о его совершенствовании (или хотя бы выводе из упадка) не идет, зато напрямую декларируется обязательность внедрения риск-ориентированного подхода при осуществлении надзора. При этом сам по себе такой подход имеет существенные недостатки и вызывает много вопросов. Одним из примеров является использование в статистике категорий риска и формирование надзорных мероприятий на их основе (табл.).

Распределение значений показателей обстановки с пожарами по категориям риска

Distribution of fire situation indicators by risk category

Категория риска Risk category	Количество пожаров, ед. Number of fires, units	Погибло, чел. People died	Травмировано, чел. People injured	Прямой ущерб, тыс. руб. Direct damage, thousan. rubles
Чрезвычайно высокий риск Extremely high risk	84	10	16	30720,1
Высокий риск High risk	1945	36	95	2213354,2
Значительный риск Significant risk	6044	120	256	6930575,4
Средний риск Average risk	4156	165	275	1567774,1
Умеренный риск Moderate risk	16 868	1031	1436	1268405,0
Низкий риск Low risk	36 241	2304	1827	2975234,6
Не подлежит категоризованию Not subject to categorization	295 553	4151	4590	7193551,6

Исходя из данных таблицы, на первый взгляд, получается, что категории риска установлены неверно с точностью до наоборот и не имеют связи с реальной статистикой, поскольку в соответствии с таблицей наибольшее количество пожаров и гибель наблюдаются в низких категориях риска. С другой стороны, есть постановление № 290 «О государственном пожарном надзоре», в соответствии с которым эти категории не фиксированы и могут меняться, т.е. объекты могут переходить из одной категории риска в другую в зависимости от ситуации. Однако эти изменения очень инерционны и не отражают реального положения дел. Кроме того, отсутствуют гарантии, что, «перевернув» эти категории, через некоторое время мы не получим той же самой картины. Таким образом, можно задаться вопросом: «А может, данные статистики как раз и зависят от наличия и эффективности надзорных мероприятий (проверок), а не от категорий риска?» В дополнение к этому следует отметить, что само по себе деление на указанные категории риска является в достаточной степени условным и искусственным. В частности, ни в одну из категорий риска не отнесены жилые здания, которые дают наибольший вклад в негативные данные статистики.

Понятно, что Основы госполитики в целом являются декларативным документом и не могут содержать всех деталей, однако, более точные направления и очертания критериев их достижения все же могут быть заданы. Например, подавляющим большинством чрезвычайных ситуаций, с которыми борется МЧС, являются пожары. Однако в списке основных угроз (п. 7) пожары как таковые отсутствуют.

Законы. Реформа

С точки зрения обеспечения пожарной безопасности в части вопросов нормирования требований основополагающим документом является федеральный закон ФЗ-123 [10], но еще недавно эту сферу регулировали два федеральных закона: ФЗ-123 и ФЗ-384 [10, 11]. Это постоянно являлось поводом рассуждений о двойственности и неэффективности системы нормирования в области пожарной безопасности. Вместе с тем, если обратиться к истории развития требований пожарной безопасности, то станет понятно, почему требования нормативных документов, обеспечивающих выполнение положений этих двух законов, до сих пор не могут быть окончательно разделены.

В самом деле, до 2008 г. имела стройная система нормирования, основанная на системе документов *в строительстве*, в которые органично вписывались соответствующие разделы, отражающие вопросы пожарной безопасности — СНиП, ГОСТ, НПБ, РД и т.д. Это являлось вполне логичным, так как обеспе-

чение пожарной безопасности неотделимо и имеет смысл только в отношении строительных и иных объектов и пребывающих на них людей. В тот период времени не было неясностей и проблем со статусом нормативных документов, которые, как правило, предполагали необходимость обязательного исполнения. Если принять во внимание явную взаимосвязь всех нормативных документов в рамках этой системы, а также ее значительную простоту, то можно назвать ее эффективной, что подтверждалось успешной практикой ее использования, хотя и не лишенной недостатков. Тем не менее эти недостатки нельзя было даже тогда назвать непреодолимыми, а главное преимущество той системы — понятные «правила игры» для всех участников процесса.

После проведения реформы в области нормирования и по настоящее время имеем ситуацию, парадоксальность которой еще более 10 лет назад была описана в работе [12]. А именно: система основана на двух федеральных законах, к ним «прилагается» список нормативных документов, требования которых, в свою очередь, делятся на: обязательные, добровольные, условно-обязательные. Выполнение требований указанных документов контролируют 3 *независимых* государственных ведомства, а разрабатывают несколько *независимых* (а иногда и коммерческих) организаций. Документы имеют ряд недостатков и внутренних противоречий, а также двойственность некоторых трактовок. При этом официальное мнение разработчиков документов в случае спорных ситуаций не имеет определяющего статуса, и спорные ситуации трактуются специалистами контролирующих органов субъективно на свое усмотрение и, как правило, формально в сторону ужесточения.

Другими словами, реформа нормирования по факту стала не созданием чего-то нового и более эффективного, а разделением и дроблением старой системы на независимые составные части, в результате чего была потеряна их необходимая взаимосвязь по всем направлениям (разработка, модернизация, управление и т.д.) и эффективность снизилась в разы.

В качестве примера можно рассмотреть указанные выше федеральные законы как основу современного нормирования.

Так, ФЗ-384 содержит в основном декларативные принципы, а технически нормируемые величины и требования являются приоритетом нормативных документов в области строительства.

Напротив, ФЗ-123 имеет в своем составе большое количество конкретики и цифр, начиная от определенных терминов и классификации и заканчивая определенными числовыми значениями. Как показала практика использования, это представляет собой серьезный недостаток и проблему. Если проследить

характер и периодичность внесения изменений в данный закон, то можно отметить его несовершенство именно в силу этой проблемы. Невооруженным глазом видно, что данные изменения являются не какими-то небольшими корректировками и устранением шероховатостей. Кардинально меняются, включаются и исключаются целые разделы и статьи, причем это касается не только числовых характеристик, но и основополагающих терминов, определений и нормативных требований.

В частности, определения терминов «аварийный выход», «безопасная зона», «пожарный отсек», «нормативные документы» не должны скольконибудь серьезно меняться во времени.

Далее, это излишне подробная классификация, явно ненужная в рамках документа такого статуса и влекущая за собой определенные трудности в применении нормативных документов. Кроме того, часть приведенных классификаций (например, статьи 19, 21 ФЗ-123) при разработке сводов правил и ГОСТов вообще не используется.

В законе также содержатся конкретные требования, предъявляемые в целом ряде случаев: автоматическая передача сигналов в пожарную охрану для целого класса зданий (Ф1.1, Ф1.2, Ф4.1, Ф4.2) вне зависимости от типа, количества людей и иных характеристик; необходимость наличия «браслетов» для медицинских организаций и еще масса примеров.

Более того, меняется первоначальная концепция закона, а следовательно, и концепция системы обеспечения пожарной безопасности. Отдельного внимания заслуживает современная редакция ст. 6 ФЗ-123, которая увеличила количество условий соответствия объектов требованиям пожарной безопасности, но это тема отдельного анализа.

Все это делает такой важный документ как федеральный закон несовершенным и уязвимым, а главное — неэффективным с точки зрения корректного использования проектной сообществом, а также экспертами и органами надзора, и, естественно, заметно тормозит развитие строительной и других отраслей экономики, не оказывая при этом никакого влияния на уровень пожарной безопасности.

Нормы. Развитие или деградация

Несмотря на значительное количество нововведений и использование новых подходов, нормирование остается неизменной основой в области обеспечения пожарной безопасности. Во всяком случае, в настоящее время отсутствует иная альтернатива традиционному нормативному подходу даже при наличии большого желания продвижения тех или иных расчетных методов, задекларированных в рамках вышеуказанных федеральных законов. Это является неоспоримым фактом. А различные направления

развития в сторону «гибкого нормирования», «риск-ориентированного подхода», «регуляторной гильотины» всего лишь направлены на то, чтобы иметь механизм обоснования отступлений от действующих нормативных требований с учетом конкретной ситуации на конкретном объекте. В остальном же любой объект проектируется в соответствии с нормативными требованиями, и никому не приходит в голову отказаться от них вообще.

Осознавая этот факт, одним из важнейших направлений деятельности в области обеспечения пожарной безопасности следует считать совершенствование противопожарного нормирования. При этом необходимо признать, что идея полного реформирования нормативной базы в результате реформы технического регулирования оказалась несостоятельной. Идея сокращения и упрощения нормативных требований по большому счету привела не к сокращению, а к увеличению количества требований, а также к их многочисленным дублированиям и хаотичному расщеплению по нормативным документам различных ведомств с различным правовым статусом.

С учетом этого процесс проектирования и прохождения экспертизы документации объектов значительно усложнился.

И хотя в области пожарной безопасности имеются некоторые положительные сдвиги, например, в части качества нормативных документов, как правило, они носят точечный, а не глобальный характер и не решают большинства существующих проблем нормирования. Ниже представлены только некоторые из них.

1. Отсутствие единого долгосрочного подхода, принятого и утвержденного в области нормирования пожарной безопасности

К сожалению, в настоящее время существует лишь декларативный принцип «обеспечить пожарную безопасность объекта защиты». Реализация этого принципа затруднена, так как при разработке каждого отдельного нормативного документа каждый автор понимает его по-своему. Отсутствует необходимое звено между авторами концепции системы обеспечения пожарной безопасности и авторами конкретных норм. Принципы реализации концепции пожарной безопасности, направления нормирования и порядок изложения конкретных требований в нормах, которых должны придерживаться все участники этого небыстрого процесса, отсутствуют. Без этого мы постоянно получаем ситуацию, при которой нет слаженности в работе, а действия напоминают систему «лебедь — рак — щука». Это неминуемо приводит к положению, когда превалирует ручное управление, которое часто дает сбой из-за смены руководства разработчиков, комитетов, институтов, департаментов и т.д., и весь процесс бросает из стороны в сторону. Говорят

то о необходимости гибкого нормирования, то о необходимости ужесточения норм, то о решительном движении в сторону расчетных методов, использовании стандартов организаций и т.д. С учетом сложившейся конъюнктуры меняются законы, требования нормативных документов и другие правила, а через некоторое время отказываемся от этого и фактически все начинается заново.

2. Отсутствие четких и объективных критериев для проработки тех или иных действительно важных вопросов и пробелов в области нормирования

Данная проблема является важнейшим моментом не только с точки зрения безопасности, но и экономической эффективности в области проектирования. Очевидно, что важные направления нормирования должны задаваться в основном исходя из статистики пожаров, анализа последствий крупных пожаров или локального выявления тех или иных недостатков нормирования, лежащих на поверхности (необходимость обеспечения пожарной безопасности новых внедряемых инновационных технологических процессов, новых строительных технологий с применением современных материалов, оборудования и т.д.). Но если провести оценку разрабатываемых документов и изменений к ним, увидим, что этой взаимосвязи фактически нет и мы постоянно отстаем в решении вопросов пожарной безопасности.

В частности, большие временные и трудовые ресурсы тратятся на проработку не первостепенных (хотя и нужных) вопросов нормирования: увеличение площадей автостоянок, защита атриумных пространств, разработка решений в части высотных зданий, защита маломобильных групп населения с помощью пожаробезопасных зон, защита от пожаров электрошкафов и т.д., хотя эти вопросы, с точки зрения статистики, занимают одни из последних мест по пожарной опасности. При этом возможность оборудования всех жилых зданий автономными пожарными извещателями и проработка вопросов их контроля остаются за скобками, хотя это мероприятие, как показывает зарубежная практика, может в разы улучшить показатели статистики.

До сих пор не решен вопрос нормирования при проектировании детских игровых центров, оборудование которых (в том числе мягкие игрушки и сухие бассейны) так и не изменилось после трагедии в Кемерове.

Напротив, с точки зрения снижения требований с целью повышения экономической эффективности, существуют серьезные недостатки в части нормирования пожарно-технических характеристик складов негорючих материалов (например, неорганических удобрений) без присутствия людей, где площадь пожарных отсеков может быть увеличена безболез-

ненно фактически без каких-либо компенсирующих мероприятий.

3. Двойная система нормирования

Данный вопрос имеет место быть уже более 15 лет с момента начала проведения реформы, но до конца так и не может быть решен. Наличие двойного нормирования серьезно усложняет процесс работы всем участникам, но полностью избавиться от него не получается. Двойные требования то исключаются, то появляются вновь. И есть глубокое убеждение, что решить эту проблему может только наличие общих (объединенных) нормативных документов строительной и пожарной отраслей, сохраняя при этом статус МЧС как разработчика противопожарных требований.

4. Неопределенный статус нормативных документов

Добровольный статус нормативных документов по пожарной безопасности, декларируемый федеральным законодательством, в известной степени является искусственным. Действительно, так называемая «добровольность» для большинства требований на практике вообще не действует, поскольку лишь малая их часть может быть обоснована теми или иными расчетами. Кроме того, рассуждения о добровольности требований в такой ответственной сфере как пожарная безопасность с текущей статистикой по гибели и ущербу выглядят нелепо, так же как нелепо выглядел бы добровольный статус правил дорожного движения, требований экологической, радиационной или электробезопасности, техники безопасности и т.п.

Поэтому целесообразным представляется в данном случае назвать вещи своими именами, не исключая возможностей расчетных методов или иных способов подтверждения соответствия, указанных в № 123-ФЗ, но признавая при этом главенство нормативной базы с возможностью ее гибкой «настройки» с помощью второстепенных инструментов в виде расчета риска и т.п.

5. Отсутствие взаимосвязи с «землей»

Как правило, основополагающие документы разрабатываются «теоретически» специалистами, не имеющими непосредственного отношения к проектированию, надзору и экспертизе проектов. В свою очередь, эксперты, инспекторы пожарного надзора, проектное сообщество не принимают непосредственного участия в разработке норм. Лишь иногда, и, как правило, в инициативном порядке, это делается в рамках процедуры публичного обсуждения. Однако и это не гарантирует учета их предложений по изложению требований пожарной безопасности. При этом экономические оценки реализации тех или иных требований, как правило, вообще не учитываются.

Поэтому достаточно распространены случаи серьезных нормативных недоработок, связанных с этим, либо наоборот настолько революционных изменений, которые не позволяют быстро перестроиться и «жить» по-новому и влекут серьезные экономические убытки, абсолютно несоразмерные с угрозой.

6. Отсутствие связи с зарубежными аналогами

К сожалению, наши и зарубежные нормы развиваются абсолютно параллельно. Изучение иностранных практик не является приоритетным, в том числе, в силу иного правового подхода к исполнению норм (система страхования, надзор и т.п.). Тем не менее непосредственная оценка совокупности технических решений в области пожарной безопасности может играть очень полезную роль. Однако использование этого опыта, как правило, сводится к неким единичным техническим решениям, что часто в отрыве от общего контекста не может быть перенесено в чистом виде в российские нормы. Другими словами, эта работа также должна осуществляться комплексно и на постоянной основе.

7. Большая инерционность процесса корректировки норм, отсутствие возможности оперативного внесения изменений

Это достаточно серьезная проблема, которая до сих пор остается одним из главных тормозящих факторов, несмотря на сокращение сроков разработки и утверждения нормативных документов. Говоря о длительности процедуры, обычно подразумевают процедуру публичного обсуждения. К ее эффективности действительно есть много вопросов, как и ко всей процедуре, описанной в рамках постановления [13].

Наиболее важный этап — это вступление в действие нормативного документа или изменений к нему. Как правило, основные вопросы начинают возникать при его практическом применении, а возможности для ускоренной корректировки нет, и, при необходимости, вся процедура должна быть повторена сначала, что занимает около одного года, а иногда и больше, в зависимости от сроков, установленных в утвержденных планах работы. С учетом существующих экономических реалий — это очень серьезный недостаток.

Хорошим решением в данном случае могло бы быть введение пробного тестового периода работы документа или возможности использования проектировщиками старой и новой версий документа на выбор.

8. Отсутствие научно-технического обоснования вводимых нормативных требований

Этот недостаток касается как ужесточения, так и ослабления нормативных требований. Как правило, в настоящее время большинство из нормативных корректировок проводятся без каких-либо научных обоснований. В лучшем случае такими обоснова-

ниями являются расчетные оценки, но, как правило, не проводятся даже они.

Особенно много вопросов возникает к механизму введения новых требований в комплекс федеральных нормативных документов на основе «типовых решений» нормативно-технических советов по рассмотрению и согласованию специальных технических условий (СТУ). Складывается ситуация, когда эти решения принимаются субъективно без всяких оснований и правил, на основе так называемой «экспертной оценки» членов нормативно-технического совета (фактически оценочных мнений отдельных специалистов) и без какой-либо персональной ответственности. Вероятно, часть подобных решений имеет право на существование, но в рамках единичных ситуаций, относящихся к конкретному объекту.

Сейчас же мы имеем парадоксальную ситуацию, когда техническое решение, принятое в рамках отдельных СТУ один раз, может тиражироваться и стать «типовым», попав в «кандидаты» на включение в нормативные документы.

9. Неоднозначность трактовки нормативных требований

При существующем состоянии норм в области пожарной безопасности, наличии противоречий, двойственных трактовок, а также многообразии технических решений большую роль играет однозначность толкования нормативных требований. Наличие этой проблемы подтверждается значительными затруднениями при прохождении объектами различных стадий, начиная от проектирования, получения заключения органов экспертизы и заканчивая его эксплуатацией. Понятно, что основную роль здесь играет необходимость соответствующего совершенствования нормативных документов и их качества. Вместе с тем на данном этапе разумным решением этого вопроса являлось бы предоставление исключительного права по трактовке нормативных требований их разработчикам. Главными преимуществами в итоге стали бы:

- однозначность;
- последовательная выработка четкой позиции для дальнейшего совершенствования норм;
- ответственность разработчика официального мнения за его дальнейшую неизменяемость;
- более плотное взаимодействие между заинтересованными организациями (разработчики, эксперты и т.д.).

10. Административное регулирование

Нельзя не сказать и об этом аспекте, который имеет место в настоящее время, впрочем, не только в сфере нормативного регулирования пожарной безопасности. Речь идет о корректировке норм под влиянием административного давления. Такое давление может осуществляться, например, при большом

желании «заказчика» устранения неугодных требований, либо наоборот внесения различных положений с целью продвижения какой-либо инженерной системы или получения конкурентных преимуществ.

При этом нельзя отнести административное регулирование к полностью негативным факторам, поскольку есть некоторые направления нормирования, которые возникают исходя из текущих государственных задач и не могут откладываться (пожарная безопасность машиностроения, производства СПГ, водородная энергетика, внедрение электромобилей и т.д.).

Вместе с тем известны также случаи безосновательной корректировки тех или иных нормативных требований в угоду сомнительных интересов конкретных организаций.

С учетом вышеизложенного можно констатировать наличие достаточного количества проблем в области противопожарного нормирования. Существует большое количество недостатков нормативных документов как в части изложения требований, так и в части их содержания. Но нельзя однозначно говорить об их серьезном развитии или деградации. Скорее всего, мы находимся возле одной точки и «топчемся на месте» уже достаточно существенное время. Более того, есть мнение, что предел развития в совершенствовании требований фактически достигнут и ожидать серьезного прорывного прогресса не стоит, естественно, за исключением новых областей нормирования. Из этого следует, что наибольший эффект в данном случае даст развитие других направлений (надзор, правовая составляющая), которые в совокупности с грамотным нормированием безусловно дадут существенный положительный эффект.

Король расчетов — риск в законе

Говоря о расчете пожарного риска, в общем виде можно иметь в виду любые расчетные методы на основе концептуально риск-ориентированного подхода, который изначально заложен и является одним из главных принципов ФЗ-123. Идея гибкого нормирования в данном случае заключается в возможности обоснования расчетами технических решений, которые не соответствуют требованиям норм, либо для которых такие нормы отсутствуют.

Эта идея действительно выглядит привлекательной. Однако, как показала многолетняя практика, ее реализация является довольно проблематичной, начиная от необходимости создания соответствующих достоверных методик и вопроса их качества, и заканчивая правовой составляющей оценки таких расчетов и их принятия различными контролирующими органами для обоснования технических решений.

Наиболее широкое применение в настоящее время получила методика оценки пожарного риска для объ-

ектов различного назначения [14]. С учетом указанной выше проблематики использование подобных расчетов сейчас наиболее отработано [15–17]. Однако, как показывает практика, ее применение до сих пор вызывает массу вопросов и научных споров, связанных с высокой погрешностью расчетов и отсутствием должного правового регулирования [18].

В качестве примеров также можно привести отсутствие логической связи положений ст. 6 и ст. 53 ФЗ-123, одна из которых говорит о расчете пожарного риска, а другая о расчете необходимого времени эвакуации людей, возможность снижения работоспособности или полное отсутствие систем противопожарной защиты с помощью применения соответствующих коэффициентов, хотя это напрямую противоречит положениям Правил противопожарного режима.

Наиболее полно проблемы применения расчетов пожарного риска изложены в статье [19]. Как было сказано выше, это и аномально высокая погрешность расчетов, и отсутствие необходимости тестирования программных комплексов, и отсутствие ответственности расчетчиков, требований к их квалификации и многие другие. Основным выводом, по мнению авторов, является принципиальная недопустимость обоснования достаточно серьезных отступлений от требований норм столь несовершенным аппаратом методики и условий ее применения и необходимость существенного ограничения использования таких расчетов. В самом деле, возникает парадоксальная ситуация, когда государством гораздо сильнее регулируются иные вопросы, напрямую не связанные с безопасностью людей и к соответствующим сферам, применяются более жесткие требования в части разработки методик, аттестации специалистов, программного обеспечения и т.д. При этом в области пожарной безопасности «отменить» то или иное требование можно вполне законно без особых сложностей и какого-либо контроля.

К сожалению, большинство вопросов, связанных с применением методики, до сих пор так и не решено. А сама по себе методика оценки пожарного риска охватывает довольно узкую область нормирования, в рамках которой могут использоваться обоснования расчетом пожарного риска.

Таким образом, необходимо признать, что использование расчетов пожарного риска, так же, как и других методик, в настоящее время фактически не обеспечивает реализацию глобальных целей и принципов ст. 6 № 123-ФЗ и серьезно ограничено, хотя имеет определенные перспективы и должно развиваться. Здесь необходимо еще раз обратить внимание на весь комплекс проблем, связанных с применением расчета риска, и повторить тезис о серьезной необходимости ограничения применения таких расчетов.

Специальные технические условия

Использование СТУ [20] уже определенное время является достаточно острым вопросом в строительной отрасли вообще и области обеспечения пожарной безопасности в частности. С недавних пор к указанному документу формируется негативное отношение, задаются планы по сокращению их количества, упоминается даже коррупционный аспект, связанный с их согласованием.

Тем не менее можно сказать, что СТУ это один из первых элементов гибкого нормирования.

Кроме того, с учетом наличия широкого спектра проблем в области нормирования, о которых было сказано выше, совершенно очевидно, что в настоящее время при грамотном использовании СТУ являются необходимым, эффективным и гибким инструментом, позволяющим соблюсти интересы всех сторон и не нарушить существующую систему норм так называемым ручным вмешательством.

Речь идет о следующих преимуществах.

Во-первых, это полноценный учет индивидуальных особенностей объекта защиты, начиная от конструктивных и объемно-планировочных решений и заканчивая инженерией.

Во-вторых, это возможность разумного и качественного обоснования тех или иных отступлений от нормативных требований с учетом применения соответствующих компенсирующих мероприятий.

В-третьих, это единственный способ обеспечения выполнения требований пожарной безопасности для объектов культурного наследия, памятников архитектуры и иных зданий, для которых по различным причинам требуется индивидуальный подход к обеспечению их пожарной безопасности.

В-четвертых, это способ сгладить все несовершенство и недостатки требований существующей системы нормирования применительно к конкретным особенностям объекта защиты.

Следующим важным преимуществом является ограничение массового распространения ненормативных и зачастую сомнительных проектных решений, использование которых требует серьезной дополнительной проработки, а для ряда объектов случаев является к тому же и небезопасным. Здесь, однако, необходимо отметить ошибочную и необоснованную практику последних лет в виде внесения в нормативные документы отдельных требований на основе «типовых» решений, разрабатываемых в рамках СТУ, о которой было сказано выше. Такая точка зрения, по мнению авторов, не свидетельствует о желании создания каких-либо излишних барьеров на пути внедрения тех или иных новых прогрессивных решений, а имеет целью избежать снижения уровня пожарной безопасности объектов защиты. Как было отмечено выше, исторически так сложи-

лось, что для внесения подобных решений требуются хоть сколько-нибудь весомые основания, а не просто экспертное мнение уважаемого специалиста или даже нормативно-технического совета.

Во-первых, подобные решения не имеют возможности быть глубоко проработанными и применяются в рамках СТУ как вынужденная мера по причине необходимости применения новых проектных решений или строительства нестандартных объектов. Однако это никак не является основанием для включения этих решений в федеральный комплекс норм. Подтверждением этому является регулярное изменение таких решений во времени, несмотря на их согласование нормативно-техническими советами для целого ряда объектов. Примерами таких решений являются не только различные значения площадей пожарных отсеков, параметров и характеристик инженерных систем, но и принципиальные способы защиты при применении ненормативных решений — защита многосветных пространств, междуэтажные пояса, аварийные выходы, пожаробезопасные зоны и т.п.

Во-вторых, требования СТУ являются нормами обязательного исполнения, тогда как требования нормативных документов, пусть и с оговорками, но имеют добровольный статус, что предполагает возможность неисполнения этих решений, отработанных хотя бы в рамках СТУ. Такой «законный» способ обхода этих решений также говорит не в пользу сторонников прямого переноса требований из СТУ в нормы.

Говоря о положительных сторонах, нельзя не отметить главный момент — СТУ позволяет эффективно найти точки соприкосновения и согласия контролирующих ведомств, участвующих в процессе контроля при создании объекта, начиная от его проектирования до введения в эксплуатацию. Как правило, все спорные моменты и недостатки норм в данном случае нивелируются.

С учетом сказанного и несмотря на различное отношение к СТУ в проектной среде и в среде надзорных органов, а также имеющиеся популяционные движения, направленные на их отмену, необходимо признать, что в настоящее время данный инструмент не только востребован, но и необходим. При этом нельзя не отметить, что правовая составляющая его реализации, действительно, требует определенных изменений для внесения четкости и однозначности в правила применения СТУ. Речь идет в основном о необходимости понятного изложения таких правил — корректировке № 123-ФЗ (ст. 78) для допустимости *отступлений* от требований норм в рамках СТУ, разъяснения порядка их разработки и применения для проектируемых и существующих объектов, а также их изложения и согласования с учетом сложившегося опыта. И, конечно, об исключении

практики, либо существенно более жестком контроле возможности внесения решений из СТУ в комплекс нормативных документов по пожарной безопасности.

Пути решения — реальность или утопия

Рассмотрев текущее состояние нормативно-правового поля, сложившееся после реформы технического регулирования, к сожалению, можно сделать вывод, что соответствующая гибкость в требованиях норм в процессе реформирования не только была не достигнута, но, скорее наоборот, большая ее часть была утрачена.

Действительно, во имя благих целей, отказавшись от стройной и отработанной годами нормативной базы, хотя и не лишенной недостатков, мы получили на порядок большее количество трудностей, а проблем в строительной отрасли стало только больше, хотя уровень обеспечения пожарной безопасности существенно не изменился.

Естественно, задаться вопросом, есть ли решение этих проблем и если есть, то насколько оно достижимо в разумные сроки. Но для начала нужно отметить одну интересную деталь.

Вышеописанные недостатки современной системы норм обозначены, и пути их устранения достаточно очевидны как для требований нормативных документов, так и для расчетных оценок. Но даже в случае полного устранения этих недостатков может ли это значительно улучшить общую ситуацию, связанную с обеспечением пожарной безопасности в строительной и иных отраслях. По мнению авторов, нет, поскольку основные причины и проблематика общей негативной ситуации находятся вне области нормирования. Как было сказано выше, нормирование это только одна из основ (столпов) обеспечения пожарной безопасности. Его совершенствование и укрепление, конечно, необходимы, но даже сейчас возможности этого направления практически ограничены.

Поэтому для достижения эффекта в развитии системы обеспечения пожарной безопасности серьезно нуждаются в совершенствовании другие составляющие — в первую очередь это механизмы контроля и их правовые основы. Пример с несоответствием категорий риска объектов, приведенный выше, является тому подтверждением.

С учетом этого, ниже представлены возможные пути решения, как кажется, по наиболее главным приоритетам.

1. Развитие эффективной и правдивой системы пожарной статистики — формирование перспективных направлений деятельности на ее основе

Это позволит не только получить объективные статистические данные по интересующим параметрам,

но и значительно повысит эффективность выбора приоритетных направлений работы, исключая из нее второстепенные направления. Без этого сегодняшняя система работает фактически вхолостую, когда специалисты тратят силы и время, а государство еще и деньги, на «ненужные» вопросы, а первостепенные, главные проблемы отрабатываются урывками после очередного резонансного пожара.

В статистике должны быть как абсолютные, так и относительные показатели, что позволит более правильно оценивать ситуацию с пожарами в стране и выбирать правильные направления в деятельности.

2. Развитие системы обеспечения пожарной безопасности жилых зданий

Говоря о данном вопросе, в первую очередь имеются в виду не только проектируемые, но и существующие здания. Как показывают данные из мировой практики, приведенные в работе [21], оснащение жилого сектора датчиками пожарной сигнализации (автономными, при отсутствии системы пожарной автоматики) является необходимым мероприятием, способным в корне изменить ситуацию с гибелью на пожарах (рис. 3).

Нельзя продолжать отгораживаться от этой проблемы под предлогом неприкосновенности жилища, и, соответственно, невозможности контроля. Подобные механизмы контроля есть, и они успешно функционируют, например, в части контроля системы газоснабжения жилого сектора. Наличие подобного механизма в области пожарной безопасности также необходимо, и в совокупности с требованиями о наличии автономных датчиков пожарной сигнализации безусловно даст огромный эффект. Проблемы экономического характера здесь не так велики и в любом случае отойдут на второй план и с лихвой окупятся сотнями сохраненных человеческих жизней как в реальности, так и в статистике МЧС как основном показателе работы министерства.

Соответствующий пилотный проект для заинтересованных областей нашей страны мог бы стать доказательством этому утверждению. Реализация подобной инициативы требует проработки соответствующих правовых основ и является важной задачей для соответствующих научных организаций и надзорных департаментов.

3. Развитие принципиально новых подходов к нормированию и контролю требований пожарной безопасности

В текущих социальных и экономико-политических реалиях требуется повышенная эффективность и слаженная работа всех отраслей экономики и органов управления, а любые препятствия мало желательны. Очевидно, что состояние настоящей системы нормативно-правового поля совсем не способствует снятию

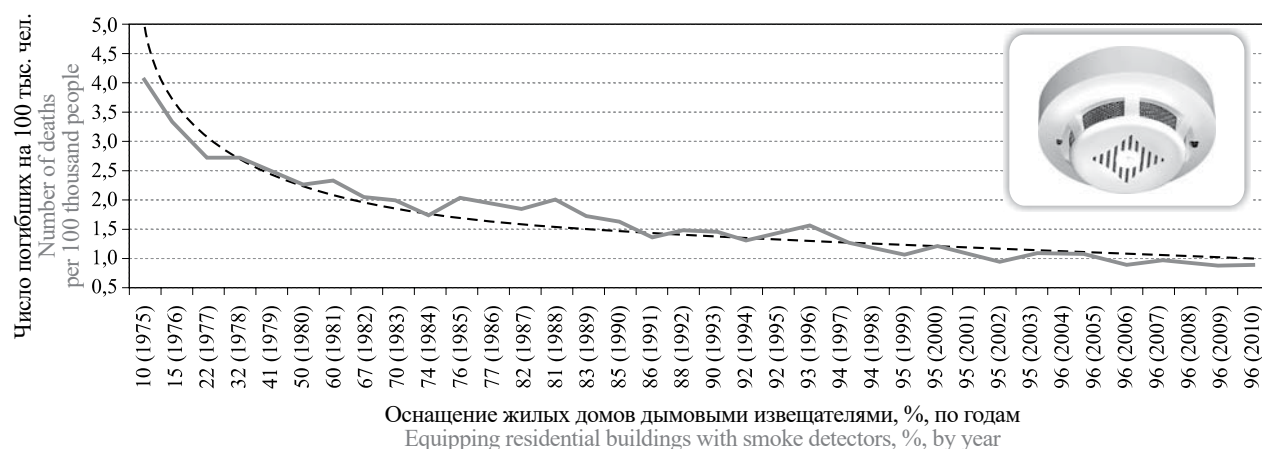


Рис. 3. Динамика оснащения жилого сектора США дымовыми извещателями и изменения величины пожарного риска в период 1975–2010 гг.

Fig. 3. The dynamics of the equipment of the US residential sector with smoke detectors and changes in the magnitude of fire risk in the period 1975–2010

этих препятствий, а в ряде случаев даже усложняет их. Понятно, что в отношении обеспечения безопасности людей такая эффективность труднодостижима, но, исходя из поставленных целей реформы технического регулирования, мы все время стремимся к такой эффективности, и она реальна. Необходима продуманная концепция развития противопожарного нормирования в стране в увязке ее с остальными отраслями экономики и, прежде всего, со строительством.

При этом необходимо повториться, что одними методами совершенствования нормативных документов добиться этого невозможно.

Наиболее естественной в данном случае является, конечно, система саморегулирования, действующая в ряде стран в виде механизма, связывающего требования пожарной безопасности с системой страхования. В нашей стране эта система не была внедрена, хотя, возможно, это решило бы многие проблемы. Тем не менее варианты совершенствования и нашей системы возможны.

Здесь необходимо отметить, что с одной стороны имеется сильно перегруженная, сложная и достаточно строгая система нормативных требований. Эти требования постоянно усложняются и, как правило, идут в сторону ужесточения, охватывая все большее разнообразие технических решений и изобилуя нормированием любых мелочей. Другими словами, несмотря на наличие различного рода «регуляторных гильотин», требования усложняются, а их количество растет, увеличивая количество препятствий при согласовании и не влияя на уровень пожарной безопасности. Это отмечает подавляющая часть проектного и экспертного сообщества, а также разработчики норм.

С другой стороны, во многих случаях вся строгость и сложность при таком нормировании строится на системе вопросов «а что будет, если?», «а если загорится там, где не должно загореться?», «а если закрыт

выход?», «а если...?» и т.д. То есть в нормативных документах действует огромный коэффициент запаса. В частности, большинство специалистов-разработчиков норм согласны с тем, что многие требования фактически зависят от правильной эксплуатации здания, т.е. попросту не нужны при правильной эксплуатации и соблюдении правил пожарной безопасности. С учетом вышеизложенного возможность для оптимизации норм есть при грамотном подходе и с помощью соответствующих методов контроля.

Более того, нельзя забывать, что уровень оснащенности современных объектов инженерными системами противопожарной защиты очень высок. Многие из объектов оснащаются фактически полным комплексом защиты, включая АПТ, СПЗ, ПДЗ, СОУЭ и т.д. Интересно, что это никак не влияет на необходимость выполнения иных требований за исключением, например, допустимой площади пожарных отсеков. Безусловно, это неправильно. Такой ситуации нет в зарубежном нормировании, где наличие системы АПТ (иных инженерных систем) допускает значительные преференции в части остальных требований.

На этом может быть основана возможность для снижения ряда требований и исключения излишних барьеров, упрощения процесса проектирования и экспертизы объекта.

Известно, что подавляющим большинством не только причин, но и последствий пожаров является человеческий фактор в широком понимании, т.е. включая нарушения требований пожарной безопасности, которые не приводят непосредственно к возникновению пожара, но могут серьезно влиять на его развитие и последствия. С этой точки зрения уровень пожарной безопасности на двух одинаковых объектах с одинаковыми системами с «плохим» и «хорошим» отношением к обеспечению пожарной безопасности будет совершенно различным. Как было отмечено выше, наш комплекс норм всегда содержит «коэффициент

запаса», априори считая все объекты «плохими». Следовательно, для «хороших» объектов этот запас требований может быть безболезненно исключен. Вместе с тем состояние объекта «плохой – хороший» процесс динамический, поэтому должен постоянно отслеживаться (контролироваться), что, собственно, и является полноценной частью риск-ориентированного подхода.

На практике этот подход приблизительно может быть реализован следующим образом. Все объекты защиты, в том числе на стадии проектирования, условно разделяются на два класса:

- тип А — объекты с высоким классом защиты;
- тип Б — объекты с обычным классом защиты.

На объектах типа А должна быть обеспечена гарантированная работа активных систем противопожарной защиты, которые, в свою очередь, являются «основными компенсирующими мероприятиями» при наличии отступлений от требований действующих нормативных документов или применении иных проектных решений. Такая гарантированная работа должна основываться на соответствующем отношении самой организации (службы пожарной безопасности, управляющей компании, ответственного лица), серьезной ответственности конкретных лиц и, главное, на возможности контроля со стороны надзорных органов. Например, для объектов класса А в части проверок может действовать дифференцированный подход с обязательным доступом инспектора на объект в любое время вне плана, но с жесткой регламентацией возможностей такой проверки. Например, только контроль ключевых, принципиально важных особенностей для объекта класса А (работа систем, положения ППР), без контроля каких-либо проектных решений (ширина путей эвакуации и т.д.).

На объектах типа Б (т.е. на объектах, на которых не реализуются подобные меры) должны в полном объеме выполняться требования действующих нормативных документов, а реализация иных решений или отступлений не допускается.

Понятно, что конкретные требования конкретных документов, которые могут быть заменены иными решениями или не выполняться вовсе для объектов класса А, являются предметом обсуждения. Кроме того, не обязательно, что выдвинутым критерием должно быть наличие той или иной активной системы, здесь возможна значительная вариативность.

Данная система не так сложна, как кажется на первый взгляд. Во всяком случае, первые шаги в этом направлении могут быть сделаны уже сегодня. Понятно, что они должны тесно сочетаться с правовой составляющей надзора и возможностью оперативного внесения изменений в нормы, о которой было сказано выше.

4. Регулирование контроля обеспечения пожарной безопасности на действующих объектах защиты

В данном случае идет речь о важном вопросе в виде отсутствия понятного порядка такого регулирования для существующих зданий при изменении функционального назначения его частей. Действительно, большинство современных общественных зданий, как правило, обладают арендуемыми площадями и зачастую их функционал может быть разнообразен. Требования пожарной безопасности, в свою очередь, в большой степени зависят от этого функционала, который при проектировании объекта фиксирован. Формально изменение функционала даже части объекта является вмешательством в ранее согласованную проектную документацию и должно заново рассматриваться экспертизой. Однако на практике этого не происходит, хотя случаи такого изменения функционала повсеместны. Поэтому нередки случаи, когда помещение офиса занимает столовая или магазин становится детским центром.

К сожалению, с точки зрения пожарной безопасности эти ситуации регулируются слабо и требуют скорейшего решения. Опять же правовая составляющая надзора, которая должна быть разработана, играет здесь первостепенную роль.

Выводы

Проблемы текущего состояния сферы обеспечения пожарной безопасности, о которых было сказано выше, во многом являются последствиями реформы технического регулирования, но в общем случае дело не только в реформе. Значительная часть существующих проблем, лежащих на поверхности, не решается совсем по иным причинам.

Часть из них была описана выше, и может создаться впечатление, что данные проблемы не решаются из-за излишней забюрократизированности и неэффективности работы организаций профильного министерства (МЧС). Конечно, это тоже представляет серьезную проблему. Но вместе с тем необходимо признать, что проблемы пожарной безопасности относятся не только к МЧС, но и к другим министерствам, территориальным и местным органам управления. Также вносят свои коррективы и серьезно деформируют правильную работу министерства в данном случае внешние воздействия, зачастую административного характера. Это препятствует эффективной работе, единственной и главной целью которой для МЧС должно являться обеспечение безопасности людей, а никак не снятие административных барьеров или иных непрофильных задач.

Представители бизнеса, различные сообщества предпринимателей имеют несколько другие цели своей работы, и далеко не всегда ими уделяется вни-

мание проблемам пожарной безопасности. Конечно, для успешного развития нашей страны диалог здесь необходим. Но указанные сообщества зачастую пользуются открытостью министерства и в совокупности с административным ресурсом «продавливают» те или иные решения, не соответствующие задачам министерства, тормозящие их выполнение, а иногда идущие с ними вразрез.

Похожая ситуация также возникает при достаточно сильном влиянии иных федеральных органов исполнительной власти — непрофильных министерств, также тормозящих работу МЧС на основании непрофессионального взгляда своих специалистов, которые зачастую ставят экономические, социальные и иные причины выше вопросов безопасности. При этом действительно необходимые и эффективные требования или решения в части пожарной безопасности, в том числе выверенные и доказанные научно, не могут быть внесены в нормативные документы или нормативные правовые акты решением профильного министерства МЧС, либо за такие решения приходится оправдываться, что является в корне неправильным.

С другой стороны, перекосы и проблемы в существующей системе обеспечения пожарной безопасности, регулируемой МЧС, также безусловно должны быть устранены, так как ошибки и неудачи реформы технического регулирования не носят глобального характера. Но с учетом политической ситуации они должны быть устранены максимально оперативно для скорейшего достижения эффекта.

По мнению авторов, главная из этих ошибок заключается в неверной реализации риск-ориентированного подхода, о котором говорил президент В.В. Путин.

Этот подход по своей сути комплексный и не должен основываться только на нормах, расчетах и в целом на технических требованиях. Наоборот, значительной его частью является правовая составляющая, включающая важнейший компонент в виде контроля (надзора). Это позволит значительно оптимизировать и улучшить климат в строительной отрасли и вывести подход к системе обеспечения пожарной безопасности на качественно новый уровень.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Кирюханцев Е.Е.* Нормирование требований пожарной безопасности в области строительства. Проблемы и пути решения // Ройтмановские чтения : сб. мат. VIII науч.-практ. конф. М., 2020. С. 46–51. EDN MBCQRPJ.
2. *Иванов В.Н., Кирюханцев Е.Е., Приступок Д.Н., Журавлев Ю.Ю.* Нормирование требований пожарной безопасности в области строительства в России : сб. мат. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России. М., 2023. С. 66–70.
3. *Мешалкин Е.А., Злобнова Е.Е.* Пожарная безопасность — проблемы применения норм // Ройтмановские чтения : сб. мат. XII науч.-практ. конф. М., 2023. С. 82–84. EDN CKVVNO.
4. *Полищук Е.Ю., Мешалкин Е.А., Болодьян Г.И.* Проблемы и пути развития противопожарного нормирования // Актуальные проблемы пожарной безопасности : сб. мат. XXXII Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 10–16. EDN MONFDG.
5. *Барановский А.С., Шамонин В.Г., Полетаев А.Н., Усолкин С.В., Барановская Е.Н.* Обеспечение безопасной эвакуации людей из зданий. Проблемы и перспективы нормирования // Актуальные проблемы пожарной безопасности : сб. мат. XXXIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки и технологий. 2021. С. 484–488. EDN VTZUIS.
6. *Барановский А.С., Барановская Е.Н., Полетаев А.Н.* Нормативное регулирование в области обеспечения пожарной безопасности. Эвакуация людей из зданий // Актуальные проблемы пожарной безопасности и охраны труда : сб. мат. XXXI Междунар. науч.-практ. конф. Химки : Академия гражданской защиты МЧС России, 2021. С. 5–9. EDN JHNQEZ.
7. *Барановский А.С.* Защита маломобильных групп населения при пожаре в рамках требований действующих нормативных документов. Необходимость или избыточность? // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. № 1 (32). С. 9–27. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.9-27
8. Основы государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года : утв. Указом Президента Российской Федерации от 11 января 2018 г. № 12.
9. *Князев П.Ю., Савельев Л.Н.* Презумпция виновности, или «Горящая Россия-2» // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. № 6. С. 70–78. EDN ZCJMJH.
10. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон № 123-ФЗ. Принят Государственной Думой 04.07.2008, одобрен Советом Федерации 11.07.2008.
11. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон № 384-ФЗ. Принят Государственной Думой 23 декабря 2009 года, одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 года.
12. *Тимошин В.С.* Пожарная безопасность и градостроительный комплекс. Законодатели хотели как лучше, а получилось... // Пожарная безопасность в строительстве. 2011. № 3. С. 14–20. EDN NXLOIP.

13. Об утверждении правил разработки, утверждения, опубликования, изменения и отмены сводов правил : Постановление Правительства Российской Федерации № 624, утв. Правительством Российской Федерации 01.07.2016.
14. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности : утв. приказом МЧС России от 14.11.2022 № 1140.
15. Литвинцев К.Ю., Кирик Е.С., Ягодка Е.А. Проблемы применения численного моделирования при определении расчетных величин пожарного риска // Вычислительные технологии. 2019. Т. 24. № 4. С. 56–59. DOI: 10.25743/ICT.2019.24.4.005
16. Калмыков С.П., Есин В.М. Время обнаружения очага пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. № 11 (26). С. 52–63. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.52-63
17. Сивенков А.Б., Журавлев С.Ю., Журавлев Ю.Ю., Медяник М.В. Об эффективности применения противопожарных дверей в снижении предельно допустимых значений опасных факторов пожара и величины пожарного риска в зданиях и сооружениях различного функционального назначения // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2019. № 4 (28). С. 6–14. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.6-14
18. Абдурагимов И.М. Еще раз о принципиальной невозможности выполнения расчетов пожарных рисков детерминированными методами // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2013. № 6 (22). С. 13–23. EDN RDLTBX.
19. Барановский А.С. Принципиальные проблемы применения расчета пожарного риска. Необходимость и возможности его оптимизации // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. № 2. С. 5–14. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.02.5-14
20. Административный регламент Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий предоставления государственной услуги по согласованию специальных технических условий для объектов, в отношении которых отсутствуют требования пожарной безопасности, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами по пожарной безопасности, отражающих специфику обеспечения их пожарной безопасности и содержащих комплекс необходимых инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению их пожарной безопасности : Приказ МЧС России от 28.11.2011 № 710.
21. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Григорьева М.П. Анализ основных пожарных рисков в странах мира и в России // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. № 2. С. 72–80.

REFERENCES

1. Kiryukhantsev E.E. Standardization of fire safety requirements in the field of construction. Problems and solutions. *Roytman readings : collection of materials of the VIII scientific and practical conference*. Moscow, 2020; 46-51. EDN MBCQPI. (rus).
2. Ivanov V.N., Kiryukhantsev E.E., Pristupyuk D.N., Zhuravlev Yu.Yu. Standardization of fire safety requirements in the field of construction in Russia : *collection of materials of the scientific and practical conference with international participation dedicated to the 90th anniversary of the foundation of the Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*. Moscow, 2023; 66-70. (rus).
3. Meshalkin E.A., Zlobnova E.E. Fire safety — problems of applying standards. *Roytman readings : collection of materials of the XII scientific and practical conference*. Moscow, 2023; 82-84. EDN CKVVHO. (rus.).
4. Polischuk E.Yu., Meshalkin E.A., Bolod'yan G.I. Problems and ways of development of fire safety regulations. *Actual problems of fire safety : collection of materials of the XXXII international scientific and practical conference*. 2020; 10-16. EDN MONFDG. (rus.).
5. Baranovsky A.S., Shamonin V.G., Poletaev A.N., Usolkin S.V., Baranovskaya E.N. Ensuring safe evacuation of people from buildings. Problems and prospects of regulation. *Actual problems of fire safety : collection of materials of the XXXIII international scientific and practical conference dedicated to the Year of Science and Technology*. 2021; 484-488. EDN VTZUIS. (rus).
6. Baranovsky A.S., Baranovskaya E.N., Poletaev A.N. Regulatory framework in the field of fire safety. Evacuation of people from buildings. *Actual problems of fire safety and labor protection : collection of materials of the XXXI international scientific and practical conference*. Khimki, Academy of civil defense of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2021; 5-9. EDN JHNQEZ. (rus).
7. Baranovsky A.S. Protection of people with limited mobility in case of fire within the framework of the requirements of current regulatory documents. Necessity or redundancy? *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and explosion safety*. 2023; 1(32):9-27. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.01.9-27 (rus).

8. Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of protection of the population and territories from emergency situations for the period up to 2030 : approved by the Decree of the President of the Russian Federation of January 11, 2018. 12. (rus).
9. Knyazev P.Yu., Savelyev L.N. Presumption of guilt or “Burning Russia-2”. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2017; 6:70-78. EDN ZCJMJI. (rus).
10. Technical regulations on fire safety requirements : Federal Law No. 123-FZ. Adopted by the State Duma on July 4, 2008, approved by the Federation Council on July 11, 2008. (rus).
11. Technical regulations on the safety of buildings and structures : Federal Law No. 384-FZ. Adopted by the State Duma on December 23, 2009, Approved by the Federation Council on December 25, 2009. (rus).
12. Timoshin V.S. Fire safety and urban development complex. Legislators wanted the best, but it turned out... *Fire safety in construction*. 2011; 3:14-20. EDN NXLOIP. (rus).
13. On approval of the rules for the development, approval, publication, amendment and cancellation of sets of rules : Resolution of the Government of the Russian Federation No. 624, approved by the Government of the Russian Federation on 01.07.2016. (rus).
14. Methodology for determining the estimated values of fire risk in buildings, structures and fire compartments of various classes of functional fire hazard : approved by order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 14.11.2022 No. 1140. (rus).
15. Litvintsev K.Yu., Kirik E.S., Yagodka E.A. Problems of applying numerical modeling in determining the estimated values of fire risk. *Computational technologies*. 2019; 24(4):56-59. DOI: 10.25743/ICT.2019.24.4.005 (rus).
16. Kalmykov S.P., Esin V.M. Fire detection time. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and explosion safety*. 2017; 11(26):52-63. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.52-63 (rus).
17. Sivenkov A.B., Zhuravlev S.Yu., Zhuravlev Yu.Yu., Medyanik M.V. The effectiveness of using fire doors in reducing the maximum permissible values of hazardous fire factors and the magnitude of fire risk in buildings and structures of various functional purposes. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 4(28):6-14. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.6-14 (rus).
18. Abduragimov I.M. Once again about the fundamental impossibility of performing fire risk calculations using deterministic methods. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2013; 6(22):13-23. EDN RDLTBX. (rus).
19. Baranovsky A.S. Fundamental problems of applying fire risk calculation. The need and possibilities of its optimization. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 2:5-14. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.02.5-14 (rus).
20. Administrative regulations of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters for the provision of public services for coordinating special technical conditions for facilities for which there are no fire safety requirements established by regulatory legal acts of the Russian Federation and regulatory documents on fire safety, reflecting the specifics of ensuring their fire safety and containing a set of necessary engineering, technical and organizational measures to ensure their fire safety : Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated November 28, 2011 No. 710. (rus).
21. Brushlinskii N., Sokolov S.V., Grigorieva M. P. Analysis of the main fire risks in the world and in Russia. *Pozharovzryvobezопасnost/Fire and Explosion Safety*. 2017; 2:72-80. (rus).

Поступила 13.02.2025, после доработки 27.02.2025;

принята к публикации 28.03.2025

Received February 13, 2025; Received in revised form February 27, 2025;

Accepted March 28, 2025

Информация об авторах

БАРАНОВСКИЙ Алексей Сергеевич, к.т.н., старший научный сотрудник отдела пожарной безопасности промышленных объектов, технологий и моделирования техногенных аварий, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; ORCID: 0000-0003-3305-1712; AuthorID: 1062586; ResearcherID: HKV-5019-2023; e-mail: komnata110@yandex.ru

Information about the authors

Alexey S. BARANOVSKY, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Department of Fire Safety of Industrial Facilities, Technologies and Modeling of Man-Made Accidents, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-3305-1712; AuthorID: 1062586; ResearcherID: HKV-5019-2023; e-mail: komnata110@yandex.ru

КИРЮХАНЦЕВ Евгений Ефимович, к.т.н., профессор, заслуженный работник пожарной охраны Российской Федерации, заместитель генерального директора, ООО «ОСК Групп», 127083, г. Москва, ул. 8 Марта, 1, стр. 12; AuthorID: 342727; e-mail: holding@oskgroup.ru

МЕШАЛКИН Евгений Александрович, д.т.н., профессор, академик НАН ПБ, председатель Правления, Федеральная палата пожарно-спасательной отрасли, 107014, г. Москва, ул. Русаковская, 28, стр. 1, а; ORCID: 0000-0003-4237-0598; AuthorID: 22313; e-mail: info@psorf.ru

Вклад авторов:

Барановский А.С. — идея; сбор материала; обработка материала; написание статьи.

Кiryuhantsev E.E. — написание статьи; научное редактирование.

Meshalkin E.A. — написание статьи; научное редактирование.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Evgeniy E. KIRYUHANTSEV, Cand. Sci. (Eng.), Professor, Honored Worker of the Fire Service of the Russian Federation, Deputy General Director, LLC “USC Group”, Marta St., 8, Building 1, Building 12, Moscow, 127083, Russian Federation; AuthorID: 342727; e-mail: holding@oskgroup.ru

Evgeniy A. MESHALKIN, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Fire Safety, Chairman of the Board, Federal Chamber of the Fire and Rescue Industry, Rusakovskaya St., 28, building 1, a, Moscow, 107014, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4237-0598; AuthorID: 22313; e-mail: info@psorf.ru

Contribution of the authors:

Baranovsky A.S. — the idea; collecting the material; processing the material; writing an article.

Kiryuhantsev E.E. — writing an article; scientific editing.

Meshalkin E.A. — writing an article; scientific editing.

The authors declare no conflicts of interests.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал «ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY» статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т.п. Авторы должны указать, к какому типу относится их статья:

- научно-теоретическая;
- научно-эмпирическая;
- аналитическая (обзорная);
- дискуссионная;
- рекламная.

Не допускается направлять в редакцию работы, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены через электронную редакцию по адресу info@fire-smi.ru.

Статья должна быть ясно и лаконично изложена и подписана всеми авторами (скан страницы с подписями). Основной текст статьи должен содержать в себе четкие, логически взаимосвязанные разделы. Все разделы должны начинаться приведенными ниже заголовками, выделенными полужирным начертанием. Для научной статьи традиционными являются следующие разделы:

- введение;
- материалы и методы (методология) — для научно-эмпирической статьи;
- теоретические основы (теория и расчеты) — для научно-теоретической статьи;
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (аналитической (обзорной), дискуссионной, рекламной) при условии четкого выделения разделов:

- введение;
- основная (аналитическая) часть;
- заключение (выводы).

Подробную информацию о содержании каждого из обозначенных выше разделов см. на сайте издательства www.fire-smi.ru.

Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть точными и лаконичными и в то же время достаточно информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустима транслитерация с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это касается также аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>).

Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, страну, индекс, город, название улицы, номер дома,

а также контактные телефоны и электронные адреса всех авторов; дать информацию о контактном лице. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

2.3.3. ORCID, Researcher ID, Scopus Author ID.

2.4. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторское резюме на английском языке в русскоязычном издании является для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- содержательным (должно отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т.е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать четко обозначенные подразделы Введение (Introduction), Цели и задачи (Aims and Purposes), Методы (Methods), Результаты (Results), Обсуждение (Discussion), Заключение (выводы) (Conclusions).

Результаты работы следует описывать предельно точно и информативно. При этом должны приводиться основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в работе.

Текст должен быть связным; излагаемые положения должны логично вытекать одно из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом упоминании в тексте резюме.

В авторское резюме не следует включать схемы, таблицы, иллюстрации, формулы, а также ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

Для повышения эффективности при онлайн-поиске включите в текст аннотации ключевые слова и термины из основного текста и заглавия статьи.

2.5. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или коротких словосочетаний). Они указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т.п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации. Используемые в заголовке слова и термины не нужно повторять в качестве ключевых слов: ключевые слова должны дополнять информацию в заголовке. При переводе ключевых слов на английский язык избегайте по возможности употребления слов «and» (и), «of» (предлог, указывающий на принадлежность), артиклей «a», «the» и т.п.

2.6. Основной текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки. Таблицы, рисунки, методы, численные данные (за исключением общеизвестных величин), опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками.

Если представленные в статье исследования выполнены авторами при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда, Министерства образования и науки Российской Федерации и т.п., то в конце статьи обязательно следует дать информацию об этом с указанием номера и названия гранта (научного проекта, госконтракта и т.д.).

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ. Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений предоставляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо печатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций неприемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения; однотипные таблицы следует строить одинаково. Цифровые данные необходимо округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться. Ссылки на все таблицы в тексте обязательны.

В журнале предусматривается двуязычное представление табличного и графического материала, поэтому необходимо прислать перевод на английский язык:

- для таблицы: ее названия, шапки, боковика, текста во всех строках, сносок и примечаний;
- для рисунка: подписочной подписи и всех текстовых надписей на самом рисунке;
- для схемы: подписи к ней и всего содержания самой схемы.

2.7. Пристайные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).

Список литературы должен включать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок. Литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке упоминания. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1-2003 и ГОСТ Р 7.0.5-2008.

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

Наряду с этим для научных статей список литературы должен отвечать следующим требованиям.

Список литературы должен содержать не менее 20 источников (в это число не входят нормативные документы, патенты, ссылки на сайты компаний и т.п.). При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 40 % от общего количества ссылок. Не более половины от оставшихся 60 % должны составлять статьи из русскоязычных научных журналов, остальное — другие первоисточники на русском языке.

Не менее половины источников должно быть включено в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс научного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения публикациям цифрового идентификатора объекта (DOI) его необходимо указать, что позволит однозначно идентифицировать объект в базах данных.

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Следует обратить внимание на публикации диссертаций (особенно докторских), защищенных в последние годы по ближайшей научной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.dissercat.com>.

Не следует включать в список литературы ГОСТы; ссылки на них должны быть даны непосредственно по тексту статьи.

Убедитесь, что указанная в списке литературы информация (Ф.И.О. автора, название книги или журнала, год издания, том, номер и количество (интервал) страниц) верна.

Неопубликованные результаты, проекты документов, личные сообщения и т.п. не следует указывать в списке литературы, но они могут быть упомянуты в тексте.

2.8. References (пристайные списки литературы на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо. Обращаем Ваше внимание, что перевод названия статей следует давать так, как он проходил при их публикации, а перевод названий журналов должен быть официально принятым. Произвольное сокращение названий источников цитирования приведет к невозможности идентифицировать ссылку в электронных базах данных.

При составлении References необходимо следовать схеме:

- ИОФ авторов (транслитерация; для ее написания используйте сайт <http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>, обязательно включив в настройках справа вверху флажок «Американская (для визы США)»; если автор цитируемой статьи имеет свой вариант транслитерации своей фамилии, следует использовать этот вариант);
- заглавие на английском языке — для статьи, транслитерация и перевод названия — для книги;
- название источника (журнала, сборника статей, материалов конференции и т.п.) в транслитерации и на английском языке (курсивом, через косую черту);
- выходные данные;
- указание на язык изложения материала в скобках (например, (in Russian)).

Например: D.N. Sokolov, L.P. Vogman, V.A. Zuykov. Microbiological spontaneous ignition. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 1, pp. 35-48 (in Russian) (Другие примеры см. www.fire-smi.ru).

3. Статьи, присланные не в полном объеме, на рассмотрение не принимаются.

4. В случае получения замечаний в ходе внутреннего рецензирования статьи авторы должны предоставить доработанный вариант текста в срок не более одного месяца с обязательным выделением цветом внесенных изменений, а также отдельно подготовить конкретные ответы-комментарии на все вопросы и замечания рецензента.

Несвоевременный, а также неадекватный ответ на замечания рецензентов и научных редакторов приводит к задержке публикации до исправления указанных недостатков. При игнорировании замечаний рецензентов и научных редакторов рукопись снимается с дальнейшего рассмотрения.

5. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати. Предпечатная подготовка статей оплачивается за счет средств подписчиков и третьих лиц, заинтересованных в публикации.

Редакция оставляет за собой право считать, что авторы, представившие рукопись для публикации в журнале «Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety», согласны с условиями публикации или отклонения рукописи, а также с правилами ее оформления!