

4-2020

FIRE and EXPLOSION
SAFETY

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ

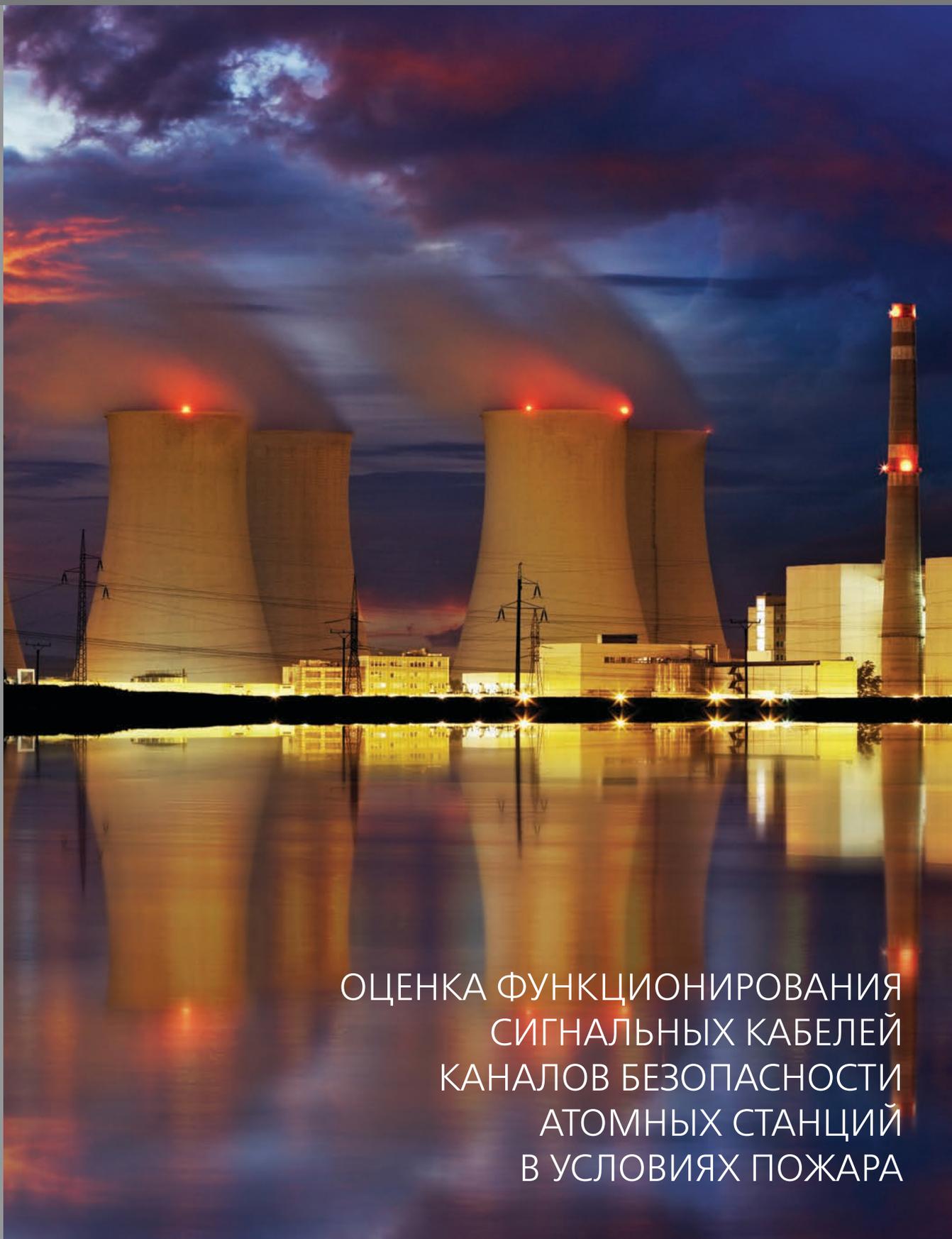


НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ОЦЕНКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СИГНАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ
КАНАЛОВ БЕЗОПАСНОСТИ
АТОМНЫХ СТАНЦИЙ
В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

26-я Международная выставка
технических средств охраны
и оборудования для обеспечения
безопасности и противопожарной защиты



а Hyve event



Москва, Крокус Экспо

11–14
августа
2020



Видеонаблюдение



Контроль
доступа



Охрана
периметра



Противопожарная
защита



Сигнализация
и оповещение



Автоматизация
зданий

РЕКЛАМА



securika-moscow.ru

Бесплатный билет
по промо-коду:

sec20p0



УЧРЕДИТЕЛЬ и ИЗДАТЕЛЬ —

ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

Адрес:

121596, Россия, г. Москва, ул. Горбунова,
д. 2, стр. 3, пом. II, комн. 12

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
77-69971 от 31 мая 2017 года.

Префикс DOI: 10.22227

РЕДАКЦИЯ:

Ответственный секретарь
научных журналов **Митькина М.В.**
Выпускающий редактор **Дядичева А.А.**
Координатор выпуска **Соколова Н.Н.**
Редактор **Махиянова Е.Б.**
Корректор **Светличная Л.В.**
Дизайнер **Федотов А.Д.**

Адрес редакции:

121596, Россия, г. Москва,
ул. Горбунова, д. 2, стр. 3, пом. II, комн. 12

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 26.

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

E-mail: info@fire-smi.ru

https://www.fire-smi.ru

Журнал включен 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 бвзу 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 28.08.2020.
Выход в свет 31.08.2020.
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.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Мольков В.В., д. т. н., профессор (Ольстерский университет, Ньютаунбб, Вели-
кобритания)

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

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

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

Бурханов А.И., д. ф.-м. н. (Волгоградский государственный технический уни-
верситет, Волгоград, Россия)

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

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

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

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

Поляндов Ю.Х., д. т. н., профессор (Национальный исследовательский Москов-
ский государственный строительный университет, Москва, Россия)

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

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

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

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

Серков Б.Б., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (Академия Государ-
ственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия)

Тамразян А.Г., д. т. н., профессор, действительный член Российской инженерной
академии (РИА), советник РААСН (Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет, Москва, Россия)

Топольский Н.Г., д. т. н., профессор, академик РАЕН и НАНПБ, заслуженный дея-
тель науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Москва, Россия)

Холщевников В.В., д. т. н., профессор, академик и почетный член РАЕН, академик
ВАНКБ, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации (Академия
Государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия)

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

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

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

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

Шилдс Т. Дж., профессор (Ольстерский университет, Ньютаунбб, Великобритания)

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF COMPLEX SAFETY

А.А. СМІРНОВА, С.Б. НЕМЧЕНКО,
С.М. ПРОКОФЬЕВА, Т.В. МУСИЕНКО, Е.А. ТИТОВА
О проекте пожарной реформы в России А.Д. Шереметева

6

A.A. SMIRNOVA, S.B. NEMCHENKO, S.M. PROKOFIEVA,
T.V. MUSIENKO, E.A. TITOVA
On A.D. Sheremetev's fire reform project in Russia

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

Е.В. ГВОЗДЕВ
Методология динамического
факторного воздействия служб на обеспечиваемые
ими подсистемы безопасности

15

E.V. GVOZDEV
Methodology of dynamic factor influence of services
on security subsystems that ensure comprehensive security
of enterprises

БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

Л.П. ВОГМАН, Д.А. КОРОЛЬЧЕНКО, А.В. ХРЮКИН
Определение условий самовозгорания отложений
горючих пылей на оборудовании, в вентиляционных
системах и аспирационных установках зданий
и сооружений

32

L.P. VOGMAN, D.A. KOROLCHENKO, A.V. KHRYUKIN
Determination of conditions for spontaneous
combustion of combustible dust deposits on equipment,
in ventilation systems, and aspiration systems
of buildings and structures

БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

Ю.Н. ШЕБЕКО
Пожарная безопасность
водородных автозаправочных станций

42

Yu.N. SHEBEKO
Fire safety of hydrogen filling stations

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА

AUTOMATED SYSTEMS AND MEANS

О.С. ЛЕБЕДЧЕНКО, В.И. ЗЫКОВ, С.В. ПУЗАЧ
Оценка функционирования сигнальных кабелей каналов
безопасности атомных станций в условиях пожара

51

O.S. LEBEDCHENKO, V.I. ZYKOV, S.V. PUZACH
Assessment of operation of safety channel signal cables
at nuclear power plants under fire conditions

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

В.Д. ЗАХМАТОВ, М.В. ЧЕРНЫШОВ, Н.В. ЩЕРБАК
О возможности использования новой импульсной
пожарной техники для качественно новой
крупномасштабной дезинфекции

59

V.D. ZAKHMATOV, M.V. CHERNYSHOV, N.V. SHCHERBAK
The potential use of new impulse
fire-fighting machinery for qualitatively
new large-scale disinfection

ВОПРОС – ОТВЕТ

QUESTION – ANSWER

А.С. ХАРЛАМЕНКОВ
Пути решения проблемы взрывов бытового газа
в жилых домах

70

A.S. KHARLAMENKOV
Ways to solve the problem of household gas explosions
in residential buildings

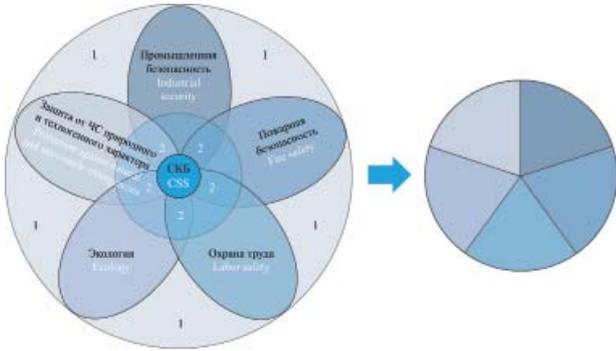
ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ ЖУРНАЛА –
ознакомление международного сообщества
с результатами исследований, проводимых
российскими и зарубежными учеными
в области комплексной безопасности.

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.



О проекте пожарной реформы в России

Стр. 6



Стр. 15

Воздействия служб на подсистемы безопасности



Условия самовозгорания в вентиляционных системах

Стр. 32



Безопасность водородных автозаправочных станций

Стр. 42

Стр. 60



О использовании импульсной техники для дезинфекции

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

No. 4 **VOL. 29**
2020

FOUNDER and PUBLISHER —
"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Address:

Gorbunova St., 2, bldg. 3, office II, rm. 12,
Moscow, 121596, 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 77-69971 on May 31, 2017.

DOI prefix: 10.22227.

EDITORIAL STAFF:

Executive secretary in charge
of research journals **Mitkina M.V.**
Executive editor **Dyadicheva A.A.**
Release coordinator **Sokolova N.N.**
Editor **Makhiyanova E.V.**
Corrector **Svetlichnaya L.V.**
Layout **Fedotov A.D.**

Address of Editorial Staff:

Gorbunova St., 2, bldg. 3, office II, rm. 12,
Moscow, 121596, Russia.

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

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

E-mail: info@fire-smi.ru
https://www.fire-smi.ru

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

No part of this publication may be used
or reproduced in any form or by any means without
the prior permission of the Publishers. Reproducing
any part of this material a reference to the journal
is obligatory.

Authors and advertisers account for contents
of given papers and for publishing in the open
press.
Opinion of Editorial Staff not always coincides with
Author's opinion.

Signed for printing 28.08.2020.
Date of publication 31.08.2020.
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, Cand. Sci. (Eng.), Academician of International Academy of Ecology
and Life Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow,
Russia)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

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

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Международная
выставка и конференция
по безопасности

**15 – 16
сентября 2020**

Международный выставочный центр ЭКСПО
г. Нур-Султан, Казахстан



Пожарная безопасность и чрезвычайные ситуации

Эффективная площадка для производителей
и поставщиков систем противопожарной защиты
и аварийно-спасательного оборудования

РАЗДЕЛЫ

- Системы пожарной сигнализации
- Огнетушители, пожарные краны и инвентарь
- Модульные установки водяного, порошкового и газового пожаротушения
- Системы дымоудаления и теплоудаления
- Огнеупорные вещества и смеси
- Поисково-спасательное оборудование и снаряжение
- Медицинское снаряжение и средства жизнеобеспечения
- Пожарная спецтехника и машины
- Транспортные средства для ликвидации последствий ЧС и оказания медицинской помощи
- Специальная защитная одежда и средства индивидуальной защиты
- Быстровозводимые укрытия

По вопросам участия:

Тел: +7 7172 64 23 23 (вн. 208)

E-mail: natali@astana-expo.com

О проекте пожарной реформы в России А.Д. Шереметева

© А.А. Смирнова, С.Б. Немченко ✉, С.М. Прокофьева, Т.В. Мусиенко, Е.А. Титова

Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России
(Россия, 196105, Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149)

АННОТАЦИЯ

Введение. Одним из направлений государственной политики в сфере пожарной безопасности является совершенствование национальных стандартов в области защиты населения от пожарной угрозы, которые должны разрабатываться не только с учетом современных вызовов и угроз, но и с опорой на исторические традиции государственного управления пожарной охраной России, в том числе и дореволюционные.

Цель написания статьи — на основе архивных данных устранить пробелы в истории развития пожарной охраны Российской империи в конце XIX в.; выявить причины неудавшейся попытки пожарной реформы в России; показать прогрессивные, опередившие свое время идеи графа А.Д. Шереметева по реформированию пожарного дела в России: первую попытку объединения пожарных команд разного типа в единую структуру по борьбе с пожарами, создание единого органа управления пожарными командами и включение добровольных пожарных команд в единую государственную систему борьбы с пожарами.

Основная часть. В статье рассматриваются основные положения проекта пожарной реформы А.Д. Шереметева. Введены в научный оборот архивные сведения из личного фонда А.Д. Шереметева в Российском государственном историческом архиве (РГИА), позволяющие осветить малоизвестные страницы истории Соединенного Российского пожарного общества. Объяснены причины необходимости проведения пожарной реформы в России. Затронута дискуссия о способах реформирования пожарной охраны Российской империи. Определена роль А.Д. Шереметева не только в становлении отечественного пожарного добровольчества, но и в разработке и обсуждении реформирования противопожарного дела страны.

Выводы. Представленный А.Д. Шереметевым проект пожарной реформы наглядно иллюстрирует процесс наполнения функции государства по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций конкретным содержанием и показывает динамику такой конкретизации после оформления этой функции в 1853 г.

Ключевые слова: пожарная охрана; добровольная пожарная дружина; главное пожарное управление; Соединенное Российское пожарное общество; функция государства по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций; законодательство о пожарной безопасности; управление пожарной безопасностью; Российская империя

Для цитирования: Смирнова А.А., Немченко С.Б., Прокофьева С.М., Мусиенко Т.В., Титова Е.А. О проекте пожарной реформы в России А.Д. Шереметева // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 4. С. 6–14. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.6-14

✉ Немченко Станислав Борисович, e-mail: nemchenko-st@mail.ru

On A.D. Sheremetev's fire reform project in Russia

© Anna A. Smirnova, Stanislav B. Nemchenko ✉, Svetlana M. Prokofieva, Tamara V. Musienko, Elizaveta A. Titova

Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia
(Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. One of the directions of the state policy in the field of fire safety is the improvement of national standards in the field of protection of the population from the fire threat, which should be developed not only taking into account modern challenges and threats, but also based on the historical traditions of state management of the fire protection of Russia, including pre-revolutionary ones.

The purpose of this article is to eliminate gaps in the history of the development of the fire protection of the Russian Empire at the end of the 19th century on the basis of archival data; to identify the reasons for the failed attempt of the fire reform in Russia; show the progressive ideas of Count A.D. Sheremetev to reform the fire service in Russia: the first attempt to unite firefighting teams of different types into a single fire-fighting organization, the creation of a single governing body for firefighting teams and the inclusion of voluntary firefighting teams in a unified state system of fire control.

Main part. This paper presents the main provisions of the fire reform project by A.D. Sheremetev. Archival data from A.D. Sheremetev's papers in the Russian State Historical Archive (RSA), allowing to explain little-known

chapters of the United Russian Fire-Fighting Society history, are introduced into scientific expression. The reasons for the need to implement fire reform in Russia are explained. The discussion on the ways of reforming the fire protection of the Russian Empire is considered. The role of A.D. Sheremetev is defined not only in the formation of national firefighting voluntary work, but also in the development and discussion of reforming the country's firefighting industry.

Conclusions. The fire reform project presented by A.D. Sheremetev clearly illustrates the process of filling the state function on emergency prevention and response with specific content and shows the dynamics of such specification after the registration of this function in 1853.

Keywords: fire service; volunteer fire brigade; main fire department; United Russian Fire-Fighting Society; state function on emergency prevention and response; fire safety legislation; fire safety management; the Russian Empire

For citation: Smirnova A.A., Nemchenko S.B., Prokofieva S.M., Musienko T.V., Titova E.A. On A.D. Sheremetev's fire reform project in Russia. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):6-14. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.6-14 (rus.).

✉ Stanislav Borisovich Nemchenko, e-mail: nemchenko-st@mail.ru

Введение

В России проблема защиты населения от пожаров никогда не утрачивала своей актуальности. Статистические данные о количестве пожаров, числе пострадавших граждан и размере экономического ущерба с самого начала ведения государством учета этих сведений являются прямым доказательством необходимости продуманной государственной политики в сфере как собственно пожаротушения, так и предотвращения пожарных бедствий с помощью профилактической работы.

Одним из направлений государственной политики в сфере пожарной безопасности является совершенствование национальных стандартов в области защиты населения от пожарной угрозы, которые должны разрабатываться не только с учетом современных вызовов и угроз, но и с опорой на исторические традиции государственного управления пожарной охраны России, в том числе и дореволюционные. Тем более, что эта проблематика имеет достойное освещение в историографии. В современной отечественной науке биографическим исследованиям о вкладе дореволюционных пожарных деятелей в становление пожарной охраны России посвящены работы А.А. Забельской [1], Н.Н. Щаблова, К.М. Ершова и В.Г. Васильева [2], В.Н. Виноградова и А.А. Лугового [3], Ю.И. Харина, О.Д. Ратниковой и Е.М. Борисовой [4], историко-правовые и культурологические основы борьбы с пожарами освещены в трудах Н.Ю. Новичковой [5], Г.А. Скипского [6], И.Г. Пирожковой [7] и В.А. Баркалова [8], зарубежному опыту пожарного добровольчества посвящены исследования О.В. Шипова и А.А. Горохова [9], Ф.А. Гомазова и А.Е. Иштимировой [10], И.В. Багажкова и П.Н. Коноваленко [11].

Историю пожарной охраны России невозможно рассматривать вне контекста мирового международного опыта борьбы с огнем. Так, например, XIX в. стал временем появления государственных пожарных команд как в России, так и в Великобри-

тании, во Франции и США. Страницам истории взаимодействия общества и государства в деле защиты населения от пожаров посвящены работы зарубежных авторов: Дж. Кенлона [12], Бр. Хенслера [13], Э.С. Гринберга [14], Э.К. Джексона [15], П. Хашагена [16] и др.

Реформирование, совершенствование работы и повышение эффективности современной пожарной службы на основе эмпирических данных рассматриваются в статьях авторов из США, Англии, Индии, Швеции, Чили и других стран [17–23].

Однако, несмотря на обширную историографию, в истории пожарной охраны дореволюционной России остается еще много так называемых белых пятен, еще ждущих своего исследователя. К числу таких малоизученных вопросов относится история разработки нереализованного проекта пожарной охраны России, подготовленного одним из ярчайших представителей пожарного дела — графом Александром Дмитриевичем Шереметевым.

Цель написания статьи — на основе архивных данных устранить пробелы в истории развития пожарной охраны Российской империи в конце XIX в.; выявить причины неудавшейся попытки пожарной реформы в России; показать прогрессивные, опередившие свое время идеи А.Д. Шереметева по реформированию пожарного дела в России: первую попытку объединения пожарных команд разного типа в единую структуру по борьбе с пожарами, создание единого органа управления пожарными командами и включение добровольных пожарных команд в единую государственную систему борьбы с пожарами.

Основная часть

Отправной точкой в реформировании пожарного дела в России стали преобразования Петра Великого, когда «были созданы предпосылки для выделения функции предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в качестве самостоятель-

ной государственной функции» [24, с. 71]. Однако, если «прочие отрасли государственного хозяйства постепенно совершенствовались, пожарное дело, в силу каких-то непонятных причин, получив, так сказать, первый импульс, вдруг остановилось на пути своего развития» [25, с. 5].

Действительно, все предпринятое в XVIII–XIX вв. попытки реформировать организацию управления пожарным делом оказались незавершенными. К концу XIX в. ситуация с управлением пожарным делом резко осложнилась двумя факторами. С одной стороны, научно-технический прогресс и бурный рост промышленного строительства в городах, к сожалению, сопровождался ростом количества пожаров. Менялся и характер пожаров. С их тушением государственные пожарные команды, штат и вооружение которых были утверждены еще «Нормальной табелью состава пожарной части в городах» в 1853 г. [26, с. 212–213], в разных регионах страны либо справлялись с трудом, либо вообще перестали справляться. С другой стороны, появление в российских городах новых типов пожарных команд: общественных, добровольных, заводских, железнодорожных, частных, целью которых являлось, в том числе, и оказание помощи на пожаре государственным пожарным командам, провоцировало конфликты в части, касающейся вопроса, кому должны подчиняться данные пожарные команды. Все эти разные типы пожарных команд имели своего учредителя, разное финансирование и комплектование штатов и пожарного обоза. Наконец, правовой статус этих новых пожарных объединений не был четко определен [5].

В конце XIX в. к обсуждению проблем организации пожарного дела в России активно подключилось гражданское общество. В 1893 г. по итогам Первого съезда русских деятелей по пожарному делу было создано Соединенное Российское пожарное общество, первым председателем которого был избран граф Александр Дмитриевич Шереметев, организовавший первую добровольную пожарную команду в Санкт-Петербурге, и которого по праву можно назвать одним из отцов-основателей отечественного пожарного добровольчества.

Начало организаторской деятельности А.Д. Шереметева в пожарном деле относится к 1877 г., когда им была основана в Подольском уезде Московской губернии Вороновская частная пожарная команда. К 1882 г. она уже состояла из двух отделений общей численностью до 60 человек. В 1884 г. первое отделение этой команды было переведено в пригород Санкт-Петербурга, в имение графа «Ульянка», и стало основой Ульянковской частной пожарной команды. На базе второго отделения была создана Высоковская частная пожарная команда в с. Вы-

сокое Сычевского уезда Смоленской губернии. Впоследствии А.Д. Шереметев сам о себе писал: «Желая прийти на помощь населению в его борьбе с пожарами в обширном значении этого слова, я решился прибегнуть к печатному слову, с целью возможно большей популяризации правил для борьбы с огнем, и потому в 1891 году основал первый в России печатный периодический, специальный пожарный орган, под названием «Пожарный» [27, Л. 2(об.)–3].

Описывая состояние пожарного дела в России, Шереметев отмечал, что «по какой-то злой иронии судьбы, мероприятия для борьбы с огнем обратно пропорциональны интенсивности пожаров; другими словами: местности, наиболее подверженные разрушительному действию огня, всегда наименее от него обеспечены..., в городах пожары далеко не представляют собой такого бича, как в сельских местностях, а между тем, если где-либо и принимаются какие меры для борьбы с пожарами, так это только в городах, в селах же и деревнях, за самыми редкими исключениями, борьба с пожарами ведется без всякой системы» [27, Л. 2–2 (об.)].

А.Д. Шереметев подчеркивал, что у пожарного дела очень много общего с военным. Но, если в вопросе организации военного дела государство сначала разработало общий план военной организации, затем сформировало полки и занялось их материально-техническим обеспечением, то в пожарном деле «было поступлено, как раз, наоборот: начали с конца, т.е. стали заводить пожарные команды, а о том, кому непосредственно следует ведать этими командами, на ком должна лежать забота о возможно большем развитии противопожарных сил империи, об этом вопрос не возбуждался» [25, с. 6].

Граф верно обращал внимание на тот факт, что основной причиной отсутствия порядка в пожарном деле являлось отсутствие единства в его управлении: «...главным виновником наших пожарных несчастий является полнейшая разрозненность между теми учреждениями, которые призваны для борьбы с огнем» [27, Л. 3]. В свойственной ему эмоциональной форме он восклицал: «А может ли быть порядок в пожарном деле, когда им распоряжаются чуть ли не десять хозяев; пожарным делом ведают: и полиция, и земства, и городские управления, и добровольные общества, и железнодорожные, и сельские управления, и администрации заводов, и частные лица и т.д.; хозяев, таким образом, много, но нет ни одного главного» [25, с. 6].

В сельской местности, где обязанность бороться с пожарами была возложена на крестьян, на лицо была проблема полного отсутствия какого-либо управления пожаротушением. Но, если появлялся на пожаре «человек, смыслящий в пожарном деле

и обладающий энергией, то крестьяне, представлявшие за несколько минут перед тем галдящую, без толку, толпу, начинают действовать спокойно, разумно, и в результате получается то, что пожар, угрожавший уничтожить целую деревню, ограничивается одним, много, двумя домами» [25, с. 7]. На основании этих доводов Шереметев пришел к выводу о том, что «при тушении пожаров необходимо единство управления». Более того, «если же подобное единство управления необходимо при тушении пожаров, то тем более необходимо это единство управления в пожарном деле, в обширном значении этого слова» [25, с. 7].

На заседаниях Соединенного Российского пожарного общества активно обсуждалось и современное состояние пожарного дела, и способы его реформирования. Так, было предложено разделить территорию страны на специальные пожарные округа, в которых следовало создать окружные пожарные учреждения. Шереметев раскритиковал эту идею, так как, по его мнению, дополнительное подчинение губерний округам только внесет дополнительные трудности в организацию пожарного дела. А.Д. Шереметев считал, что самым важным и наиболее своевременным началом пожарной реформы в России должно стать создание «специального административного органа», который бы взял на себя функции управления пожарным делом в России. В одной из автобиографических записок Шереметев позднее писал: «Я всеми силами стал стремиться к созданию такого положения, которое, объединив первоначально деятельность пожарных обществ между собою, постепенно подготовило бы их к слиянию с прочими пожарными учреждениями Российской империи, под верховным главенством правительства» [27, Л. 3]. В итоге, А.Д. Шереметевым при участии Херсонского брантмейстера К. Безсонова был подготовлен подробный проект пожарной реформы в России.

Доказывая необходимость скорейшего проведения пожарной реформы, авторы проекта акцентировали внимание на статистике пожаров в России, ссылаясь на данные Центрального статистического комитета министерства внутренних дел, согласно которым в 1860-е годы в России в целом произошло 14 468 пожаров, в следующее десятилетие их количество возросло вдвое — 30 165, а в 1880-е годы число пожаров увеличилось до 45 006 [25, с. 9]. При этом абсолютное большинство пожаров происходило в сельской местности, а не в городах.

Именно поэтому А.Д. Шереметев считал, что одним из важнейших принципов новой пожарной реформы должно стать начало ее проведения с уездов, с сельской местности, где он предложил создать специальные губернские и уездные пожарные управления, деятельность которых как раз

и могла бы быть объединена «компетентным правительственным центральным органом — Главным пожарным управлением» [25, с. 11]. Эти уездные и губернские пожарные управления, по мысли разработчика, необходимо наделить широким кругом полномочий и самостоятельности, так как страна велика и изобилует специфическими местными особенностями. Конечно, тушение пожаров на севере имеет одну специфику, а в южных степных районах — другую. Где-то много источников воды для пожаротушения, где-то они практически отсутствуют. Поэтому разработкой тактики тушения пожаров и выбором средств пожаротушения должны заниматься местные уездные и губернские пожарные управления. В обязанности Главного пожарного управления должно было входить создание «общего плана действий, т.е. организация пожарного дела на перспективу» [25, с. 11]. Говоря современным языком, Главное пожарное управление должно было заниматься разработкой стратегии развития пожарного дела в России.

В уездах и волостях, т.е. непосредственно в сельской местности, для организации пожаротушения необходимо: 1) подготовить так называемых «пожарных деятелей» из местных учителей и помещиков, поскольку они образованы, имеют определенную власть над крестьянами и пользуются их авторитетом; 2) обязать духовенство и земских начальников заниматься просвещением крестьян, пробуждая в них «сознание самозащиты против пожарных бедствий»; 3) учащиеся школ обучать навыкам и приемам огнетушения, «может быть в виде гимнастики»; 4) из прошедших обучение формировать волостные пожарные дружины, численность которых должна соотноситься с местными условиями и плотностью населения [25, с. 13]. Эти волостные пожарные дружины, по мнению А.Д. Шереметева, должны были стать основной силой противопожарной охраны в сельской местности.

Поскольку количество пожаров в городах также постоянно увеличивалось и городские пожарные команды явно не справлялись с возложенным на них делом пожаротушения, разработчики реформы считали необходимым, во-первых, пересмотреть действующие штаты существующих пожарных команд, а во-вторых, переподчинить пожарные команды вновь создаваемым уездным и губернским пожарным управлениям. Кроме того, предусматривалось использование в пожарных командах только вольнонаемного труда.

Не подвергая тезис авторов пожарной реформы о росте пожарной угрозы в городах страны в целом, необходимо заметить, что, например, в столице ситуация с пожарами частично отличалась от общей картины в стране. Так, статистические сведения

о динамике пожаров в Санкт-Петербурге за десятилетие с 1897 по 1906 гг. говорят о том, что порой количество пожаров не только не увеличивалось, но и уменьшалось.

Анализ проекта пожарной реформы, а также материалов личного архивного фонда графа А.Д. Шереметева позволяет сделать вывод о том, что один из основателей пожарного добровольчества Александр Дмитриевич Шереметев не видел за добровольной пожарной охраной самостоятельных перспектив вне государственной системы пожарной охраны страны. Пытаясь выстроить, хоть и на бумаге, единую централизованную иерархичную систему пожаротушения в стране, А.Д. Шереметев считал, что «все добровольные пожарные общества, дружины и артели, для общего объединения в государстве пожарного дела, должны войти в ведение Главного пожарного управления», которое обязано

разработать для них единообразный нормальный устав [25, с. 28].

Однако самому добровольчеству Шереметев придавал очень большое значение, настаивая на обязательном создании добровольных пожарных дружин повсеместно, и верил «в силу русского мужика», считая необходимым при этом только обеспечить грамотное руководство деятельностью добровольных пожарных обществ и т.п. Более того, при разработке проекта типового устава волостной пожарной дружины Александр Дмитриевич учел свой собственный опыт организации частных пожарных команд, для которых им были также составлены свои уставы, а их действие было апробировано в указанных командах на протяжении более 10 лет.

Однако, на удивление, съезд Соединенного Российского пожарного общества в своем большинстве не поддержал новаторские для конца XIX в. идеи

Таблица 1. Сравнительная статистическая ведомость о числе пожаров, бывших в Санкт-Петербурге за 1897–1906 гг. [28, Л. 49] (данные из Отчета Санкт-Петербургской пожарной команды за 1906 год)

Table 1. Comparative statistical report on the number of fires that took place in St. Petersburg in 1897–1906. [28, L. 49] (data from the Report of St. Petersburg Fire Brigade for 1906)

Номера пожаров* Fire numbers*	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903	1904	1905	1906
1	17	21	15	12	16	8	10	18	18	20
2	729	652	671	881	844	766	875	865	943	1091
3	155	168	152	136	125	89	79	124	79	64
4	14	11	15	13	17	6	11	11	12	12
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	4	10	6	9	14	5	5	4	19	9
Без номера Unnumbered	4	5	4	2	4	3	2	3	1	—
Итого Total	923	867	863	1053	1021	877	982	1025	1072	1196

*№ 1 — пожар на дальнем расстоянии, вне района выезда (городские части выезжают лишь по особому распоряжению).

№ 2 — малый пожар (выезжает местная часть).

№ 3 — средний пожар (выезжает от трех до пяти частей; на каланчах поднимаются сигналы).

№ 4 — большой пожар (выезжает от семи до десяти частей; на каланчах, кроме сигналов, поднимается красный флаг или фонарь).

№ 5 — самый сильный пожар (выезжают все части и резервы частей, прибывших по пожару № 3; на каланчах, кроме сигналов и красного флага, поднимается белый флаг или зеленый фонарь).

№ 6 — пожар локализован (сигналы и флаги опускают).

№ 7 — пожар на воде или береговой (вызов пожарных пароходов).

Паровые машины на все пожары выезжают одновременно с частями.

*No. 1 — fire in a long distance, outside the response area (city fire brigades leave only by special order).

No. 2 — small fire (local fire brigade is leaving).

No. 3 — medium fire (three to five fire brigades are leaving; signals go up on the fire observation towers).

No. 4 — large fire (seven to ten fire brigades are leaving; a red flag or a lantern is rising on the fire observation towers, except for signals).

No. 5 — the largest fire (all fire brigades and reserves that arrived by fire No. 3 are leaving; a white flag or a green lantern is rising on the fire observation towers, except for signals and a red flag).

No. 6 — fire was contained (signals and flags are lowered).

No. 7 — fire on the water or on shore (calling fire boats).

Steam vehicles go to all fires at the same time with fire brigades.

графа А.Д. Шереметева и его помощника К. Безсонова объединения всех противопожарных сил страны в единую систему, а также повсеместного создания добровольных пожарных дружин.

Об этих событиях сам А.Д. Шереметев высказался следующим образом: «Я настолько был увлечен желанием поставить пожарное дело в России на твердую ногу, что верил в своих сотрудников, как в самого себя, но я жестоко был наказан за такое доверие: по мере развития деятельности общества стало очевидным, что лица, взявшиеся помогать мне в этом новом деле, совершенно расходятся со мною во взглядах на пожарное дело в России и на те цели, ради которых было создано мною это Общество; они повели дело так, что мое положение в Обществе стало, наконец, невыносимым, вследствие чего, в следующем же году, я вынужден был сложить с себя звание Председателя Главного Совета Общества, и даже порвал с ним всякую связь. Эта неожиданная развязка поразила меня, как громом...» [27, Л. 3(об.)].

Таким образом, не получив поддержки в воплощении в жизнь своих идей, А.Д. Шереметев в знак протеста покинул ряды Соединенного Российского пожарного общества. После этого активный организатор и бесконечно преданный пожарному делу А.Д. Шереметев сосредоточил свое внимание на создании знаменитой впоследствии Пожарной дружины имени Петра Великого.

Выводы

Исследование архивных сведений позволило авторам сделать вывод, что после самоустранения

Шереметева от участия в работе Соединенного Российского пожарного общества, дискуссия свелась к обсуждению отдельных вопросов пожарного дела, таких как сохранение пожарной повинности в сельской местности и ее форм (денежной или натурой), трубочистное дело в городах и деревнях, противопожарное страхование и т.п.

Лишенный поддержки Соединенного Российского пожарного общества, устранившийся от работы всех совещаний по пожарному делу, А.Д. Шереметев практически в одиночку разработал и опубликовал в 1895 г. подробный комплексный проект пожарной реформы в России.

Анализ архивных источников позволяет предположить, что пожарная реформа в том случае, если А.Д. Шереметев не отстранился от дел, могла бы получить поддержку государства и была реализована уже на рубеже XIX–XX вв.

Обсуждение вектора развития пожарного дела в конце XIX в. и представленный А.Д. Шереметевым проект пожарной реформы наглядно иллюстрируют процесс наполнения функции государства по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций конкретным содержанием и показывают динамику такой конкретизации после оформления этой функции в 1853 г.

Сегодня, оглядываясь назад и обращаясь к проекту пожарной реформы А.Д. Шереметева, можно утверждать, что, на наш взгляд, идея создания Главного пожарного управления опередила свое время более чем на четверть века, а идеи использования потенциала добровольчества в масштабах всей страны — более чем на 60 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Забельская А.А.* Князь Александр Львов. Жизнь для ближнего. СПб. : Тип. Полет, 2014. 58 с.
2. *Щаблов Н.Н., Еришов К.М., Васильев В.Г.* Брандмайоры Санкт-Петербурга : сборник исторических очерков. СПб. : Наука, 1994. 238 с.
3. *Виноградов В.Н., Луговой А.А.* Титулованные огнеборцы России: граф Александр Дмитриевич Шереметев — огнеборец и музыкант // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. 2018. № 1 (38). С. 76–83. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36296975>
4. *Харин Ю.И., Ратникова О.Д., Борисова Е.М.* Опыт борьбы с пожарами в Российской империи // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. XXVIII междунар. науч.-практ. конф. : в 2-х ч. Ч. 2. М. : ВНИИПО, 2016. С. 442–456. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28817995>
5. *Новичкова Н.Ю.* О проблеме двоевластия в управлении пожарными командами в России во второй половине XIX века // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. 2012. № 4 (18). Ч. 2. С. 149–152. URL: <https://www.gramota.net/materials/3/2012/4-2/38.html>
6. *Скитский Г.А.* Исторический опыт взаимодействия полиции и пожарной охраны Российской империи в XVIII в. // Техносферная безопасность. 2017. № 1 (14). С. 84–91.
7. *Пирожкова И.Г.* Пожарный устав как источник градостроительного права: особенности систематизации // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2014. № 2 (130). С. 198–204. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21344766>
8. *Баркалов В.А.* Феномен добровольчества в культуре повседневности : (на примере вольного пожарного общества воронежской губернии конца XIX – начала XX вв.) // Вестник

- научной сессии факультета философии и психологии / отв. ред. Ю.А. Бубнов. Вып. 18. Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018. С. 28–33.
9. *Шунов О.В., Горохов А.А.* Зарубежный и отечественный опыт пожарного добровольчества // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения : сб. мат. ЛIII Междунар. студ. науч.-практ. конф. Тюмень, 29 марта 2019 г. Тюмень, 2019. Часть 2. С. 718–723. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38585567>
 10. *Гомазов Ф.А., Иштимирова А.Е.* Принципы применения опыта других стран при формировании системы добровольных пожарных команд // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы, формирование культуры безопасности жизнедеятельности: приоритеты, проблемы, решения : мат. Всеросс. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 26 сентября 2018 г. СПб. : Петербургский университет ГПС МЧС России, 2018. С. 204–207. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40536898>
 11. *Багажков И.В., Коноваленко П.Н., Наумов А.В.* Добровольная пожарная охрана зарубежных стран // Пожарная и аварийная безопасность : сб. мат. XII междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году гражданской обороны. Иваново, 29–30 ноября 2017 г. Иваново, 2017. С. 563–565. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37007279>
 12. *Kenlon J.* Fires and fire-fighters; a history of modern fire-fighting with a review of its development from earliest times. USA, Andesite Press, 2017. 528 p.
 13. *Hensler B.* Crucible of fire: nineteenth-century urban fires and the making of the modern fire service. USA, Potomac Books, 2011. 260 p.
 14. *Greenberg A.S.* Cause for alarm: the volunteer fire department in the nineteenth-century city. Princeton, New Jersey : Princeton University Press, 1998. 244 p.
 15. *Jackson E.C.* Prescott fire department. Arcadia Publishing, 2014. 128 p.
 16. *Hashagen P.* Fire department, City of New York. Turner Publishing Company, 2002. 272 p.
 17. *Johansson N., Svensson S.* Review of the use of fire dynamics theory in fire service activities // Fire Technology. 2019. Vol. 55. No. 1. Pp. 81–103. DOI: 10.1007/s10694-018-0774-3
 18. *Runefors M.* Measuring the capabilities of the Swedish fire service to save lives in residential fires // Fire Technology. 2020. Vol. 56. No. 2. Pp. 583–603. DOI: 10.1007/s10694-019-00892-y
 19. *Andrews R., Ashworth R., Meier K.J.* Representative bureaucracy and fire service performance // International Public Management Journal. 2014. Vol. 17. No. 1. Pp. 1–24. DOI: 10.1080/10967494.2014.874253
 20. *Carvalho J., Fernandes M., Lambert V., Lapsley I.* Measuring fire service performance: a comparative study // International Journal of Public Sector Management. 2006. Vol. 19. No. 2. Pp. 165–179. DOI: 10.1108/09513550610650428
 21. *Pérez J., Maldonado S., López-Ospina H.* A fleet management model for the Santiago Fire Department // Fire Safety Journal, 2016. Vol. 82. Pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.firesaf.2016.02.008
 22. *Vidyadharan A., John J., Thomas C., Yadav B.P.* Fire safety management in india: a review // Advances in Fire and Process Safety. Singapore: Springer, 2018. Pp. 171–181. DOI: 10.1007/978-981-10-7281-9_14
 23. *Reszka P., Fuentes A.* The great Valparaiso fire and fire safety management in Chile // Fire Technology. 2015. Vol. 51. No. 4. Pp. 753–758. DOI: 10.1007/s10694-014-0427-0
 24. *Немченко С.Б., Смирнова А.А.* Становление функции государства по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Российской империи // Правовая политика и правовая жизнь. 2015. № 4. С. 68–76.
 25. *Шереметев А.Д.* Проект пожарной реформы в России / сост. гр. А.Д. Шереметевым при участии херсон. брантмайора К. Безсонова. СПб., 1895. 117 с.
 26. Законодательство Российской империи в сфере борьбы с пожарами и стихийными бедствиями в первой половине XIX века : хрестоматия в 2-х т. Т. 1: Законодательство Российской империи в сфере борьбы с пожарами / под общ. ред. Э.Н. Чижикова, Н.И. Уткина. СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019. 270 с.
 27. РГИА. Ф. 1118. Оп. 2. Д. 96. Объяснительная записка гр. А.Д. Шереметева к истории возникновения и деятельности пожарной дружины им. Петра Великого.
 28. ГАРФ. Ф. 102. Д. 2. 1881. Д.711. О Санкт-Петербургской пожарной команде.

REFERENCES

1. Zabel'skaya A.A. *Prince Aleksandr L'vov life for the neighbor*. Saint Petersburg, Typography Polet, 2014; 58. (rus.).
2. Shchablov N.N., Ershov K.M., Vasil'yev V.G. *Brandmayory of Saint Petersburg : collection of historical essays*. Saint Petersburg, Nauka publ., 1994; 240. (rus.).

3. Vinogradov V.N., Lugovoy A.A. Titled firefighters Russia: Count Alexander Dmitrievich Sheremetev — firefighter and musician. *Psychological and pedagogical problems of human and social security*. 2018; 1(38):76-83. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36296975> (rus.).
4. Kharin Yu.I., Ratnikova O.D., Borisova E.M. Experience in fighting fires in the Russian Empire. *Actual problems of fire safety : materials of the XXVIII international scientific and practical conference: in 2 parts. Part 2*. Moscow, VNIPO publ., 2016; 442-456. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28817995> (rus.).
5. Novichkova N.Yu. About dual power problem in fire brigades management within Russia in the second half of the XIXth century. *Historical, philosophical, political and legal Sciences, cultural studies and art criticism. Questions of theory and practice*. 2012; 4(18):2:149-152. URL: <https://www.gramota.net/materials/3/2012/4-2/38.html> (rus.).
6. Skipskiy G.A. Historical experience of interaction of police and fire protection of the Russian empire in the XVIII century. *Technosphere safety*. 2017; 1(14):84-91. (rus.).
7. Pirozhkova I.G. Fire charter as a source of town-planning law: features of systematization. *Tambov University Review. Series: Humanities*. 2014; 2(130):198-204. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21344766> (rus.).
8. Barkalov V.A. The phenomenon of volunteerism in the culture of everyday life: (on the example of the free fire society of the Voronezh province of the late XIX – early XX centuries.). *Bulletin of the scientific session of the faculty of philosophy and psychology / ed. Yu.A. Bubnov*. Vol. 18. Voronezh, Voronezh State University Publishing House, 2018; 28-33. (rus.).
9. Shipov O.V., Gorokhov A.A. Foreign and domestic experience of the fire of volunteerism. *Topical issues of science and economy: new challenges and solutions Collection of materials of the LIII International student scientific and practical conference. Tyumen, March 29, 2019. Part 2*. Tyumen, 2019; 718-723. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38585567> (rus.).
10. Gomazov F.A., Ishtimirova A.E. Principles of applying the experience of other countries in the formation of the system of voluntary fire command. *Security service in Russia: experience, problems, prospects formation of a culture of life safety: priorities, problems, solutions : materials of the all-Russian scientific and practical conference. St. Petersburg, September 26, 2018*. St. Petersburg, St. Petersburg State Fire Service EMERCOM of Russia, 2018; 204-207. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40536898> (rus.).
11. Bagazhkov I.V., Konovalenko P.N., Naumov A.V. Voluntary fire protection of foreign countries. *Fire and emergency safety : collection of materials of the XII international scientific and practical conference dedicated to the year of civil defense. Ivanovo, November 29–30, 2017*. Ivanovo, 2017; 563-565. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37007279> (rus.).
12. Kenlon J. *Fires and fire-fighters; a history of modern fire-fighting with a review of its development from earliest times*. USA, Andesite Press, 2017; 528.
13. Hensler B. *Crucible of fire: nineteenth-century urban fires and the making of the modern fire service*. USA, Potomac Books, 2011; 260.
14. Greenberg A.S. *Cause for alarm: the volunteer fire department in the nineteenth-century city*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1998; 244.
15. Jackson E.C. *Prescott fire department*. Arcadia Publishing, 2014. 128 p.
16. Hashagen P. *Fire department, City of New York*. Turner Publishing Company, 2002. 272 p.
17. Johansson N., Svensson S. Review of the use of fire dynamics theory in fire service activities. *Fire Technology*. 2019; 55(1):81-103. DOI: 10.1007/s10694-018-0774-3
18. Runefors M. Measuring the capabilities of the Swedish fire service to save lives in residential fires. *Fire Technology*. 2020; 56(2):583-603. DOI: 10.1007/s10694-019-00892-y
19. Andrews R, Ashworth R, Meier K.J. Representative bureaucracy and fire service performance. *International Public Management Journal*. 2014; 17(1):1-24. DOI: 10.1080/10967494.2014.874253
20. Carvalho J., Fernandes M., Lambert V., Lapsley I. Measuring fire service performance: a comparative study. *International Journal of Public Sector Management*. 2006; 19(2):165-179. DOI: 10.1108/09513550610650428
21. Pérez J., Maldonado S., López-Ospina H. A fleet management model for the Santiago Fire Department. *Fire Safety Journal*. 2016; 82:1-11. DOI: 10.1016/j.firesaf.2016.02.008
22. Vidyadharan A., John J., Thomas C., Yadav B.P. Fire safety management in India: a review. *Advances in Fire and Process Safety*. Singapore, Springer publ., 2018; 171-181. DOI: 10.1007/978-981-10-7281-9_14
23. Reszka P., Fuentes A. The great Valparaiso fire and fire safety management in Chile. *Fire Technology*. 2015; 51(4):753-758. DOI: 10.1007/s10694-014-0427-0
24. Nemchenko S.B., Smirnova A.A. Becoming public function of emergency management in the Russian empire. *Legal policy and legal life*. 2015; 4:68-76. (rus.).

25. Sheremetev A.D. Fire reform project in Russia / comp. gr. A.D. Sheremetev with the participation of Kherson. brandmaster K. Bessonova. St. Petersburg, 1895; 117. (rus.).
26. *The legislation of the Russian empire in the sphere of firefighting and the fight against disasters in the first half of the XIX century: anthology in 2 vol. I: Legislation of the Russian Empire in the field of fire control* / edited by E.N. Chizhikova, N.I. Utkina. Saint Petersburg, Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, 2019; 270. (rus.).
27. Russian state historical archive (RSIA). F. 1118. Op. 2. D. 96. *Explanatory note by gr. A.D. Sheremetev to the history of the origin and activity of the fire brigade named after him. Peter The Great.* (rus.).
28. State archive of the Russian Federation (GARF). F. 102. D-2. 1881. D. 711. *About the St. Petersburg fire brigade.* (rus.).

*Поступила 24.06.2020, после доработки 27.07.2020;
принята к публикации 03.08.2020*

*Received June 24, 2020; Received in revised form July 27, 2020;
Accepted August 3, 2020*

Информация об авторах

СМИРНОВА Анна Александровна, канд. ист. наук, доцент, доцент кафедры теории и истории государства и права, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 761118; ORCID: 0000-0003-4880-8183; e-mail: rugachevaanna@yandex.ru

НЕМЧЕНКО Станислав Борисович, канд. юр. наук, доцент, начальник кафедры теории и истории государства и права, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 741152, Researcher ID: C-8295-2016; ORCID: 0000-0001-9785-6419; e-mail: nemchenko-st@mail.ru

ПРОКОФЬЕВА Светлана Михайловна, д-р юр. наук, профессор, профессор кафедры теории и истории государства и права, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 415406; ORCID: 0000-0002-9145-0271; e-mail: sveta_prokofyeva@mail.ru

МУСИЕНКО Тамара Викторовна, д-р полит. наук, канд. ист. наук, доцент, заместитель начальника по научной работе, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 390246; Researcher ID: S-1202-2016; ORCID: 0000-0001-9658-1169; e-mail: tvm7777@mail.ru

ТИТОВА Елизавета Андреевна, научный сотрудник отдела информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС и пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 797857; ORCID: 0000-0001-9064-2901; e-mail: ooni@igps.ru

Information about the authors

Anna A. SMIRNOVA, Cand. Sci. (Historic), Docent, Associate Professor of Department of Theory and History of State and Law, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 761118; ORCID: 0000-0003-4880-8183; e-mail: rugachevaanna@yandex.ru

Stanislav B. NEMCHENKO, Cand. Sci. (Law), Docent, Head of Department of Theory and History of State and Law, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 741152; Researcher ID: C-8295-2016; ORCID: 0000-0001-9785-6419; e-mail: nemchenko-st@mail.ru

Svetlana M. PROKOFIEVA, Dr. Sci. (Law), Professor, Professor of Department of Theory and History of State and Law, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 415406; ORCID: 0000-0002-9145-0271; e-mail: sveta_prokofyeva@mail.ru

Tamara V. MUSIENKO, Dr. Sci. (Polit.), Cand. Sci. (Historic), Docent, Deputy Head for Scientific Work, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 390246; Researcher ID: S-1202-2016; ORCID: 0000-0001-9658-1169; e-mail: tvm7777@mail.ru

Elizaveta A. TITOVA, Researcher of Department of Information Support of Population and Technologies of Information Support of the RFES and Fire Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 797857; ORCID: 0000-0001-9064-2901; e-mail: ooni@igps.ru

Методология динамического факторного воздействия служб на обеспечиваемые ими подсистемы безопасности

© **Е.В. Гвоздев** ✉

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В структуре управления промышленными предприятиями требуется создание ставшей уже традиционной системы комплексной безопасности, включающей в себя отраслевые направления (промышленную и пожарную безопасность, охрану труда, экологическую и информационную безопасность, анти-террористическую защищенность объекта). Статистикой подтверждены факты о том, что основная доля детерминированных опасностей возникает из-за человеческого фактора, в том числе из-за недостатков (пробелов) в области воздействия персонала служб промышленной и пожарной безопасности, охраны труда, информационной безопасности и анти-террористической защищенности, экологической безопасности (далее — службы) на курируемую подсистему безопасности. Для решения указанной проблемы представлено методологическое обоснование в получении показателей влияния (воздействия) каждой из служб, что позволяет выявить проблемные точки в управлении рассматриваемой системы комплексной безопасности.

Методы исследования. Проанализированы подходы с использованием существующих методов в комплексной безопасности предприятий, рассмотрены особенности их применения. На этапе проведения аналитических исследований предложено применение метода прямого детерминированного факторного анализа, с помощью которого появляется возможность детализировать показатели влияния факторов, разбивать их на составляющие. На этапе синтезирования полученных аналитических результатов предложено применение метода дерева целей на основе обратных вычислений, позволяющего получить коэффициенты приращения (убывания) пробелов (ошибочных действий) персонала служб, возникающих в динамическом процессе исполнения ими трудовых отношений.

Постановка задачи. Обрабатывались данные статистики возникновения пожаров на предприятиях электроэнергетики РФ. Определялись коэффициенты характеристического влияния (прямое, непосредственное, опосредованное, косвенное). Потребовалось решить задачу с динамическим представлением показателей работы служб (по годам), чтобы определить те места, которые требуют формирования управляющих предписаний руководителем предприятия.

Решение задачи. Представлен пример решения обратной задачи на основе построения дерева целей, которое характеризуется простотой применения, наглядностью, динамичностью, универсальностью и унифицированностью.

Вывод. Полученные результаты могут быть интегрированы как включение в созданную на предприятии экспертную или интеллектуальную систему управления (например, SAP).

Ключевые слова: система комплексной безопасности; статистика пожаров; курирующая служба; оценка показателя воздействия; построение дерева целей

Для цитирования: Гвоздев Е.В. Методология динамического факторного воздействия служб на обеспечиваемые ими подсистемы безопасности // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 4. С. 15–31. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.15-31

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

Methodology of dynamic factor influence of services on security subsystems that ensure comprehensive security of enterprises

© **Evgeniy V. Gvozdev** ✉

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

ABSTRACT

Introduction. In the structure of management of industrial enterprises, it is necessary to create an integrated safety and security system, which has already become traditional and includes sectoral areas (industrial and fire safety, labor safety, environmental and information security, anti-terrorism security of the facility). The statistics confirm the facts that the major part of determined hazards is caused by the human factor, including shortcomings (gaps) in the field of impact of personnel of industrial and fire safety services, labor safety, information security and anti-

terrorism security, environmental security (hereinafter – services) on the supervised safety subsystems. To solve this problem, a methodological basis is presented in obtaining indicators of the influence (impact) of each of the services, that allows to reveal vulnerabilities in management of considered integrated safety and security system.

Methods of research. Approaches using existing methods in integrated safety and security of the enterprises are analyzed, and the features of their application are considered. At the stage of analytical research, it is proposed to apply the method of direct determined factor analysis, which makes it possible to specify the indicators of factor influence, divide them into components. At the stage of synthesizing the obtained analytical results, it is offered to apply the method of the objective tree on the basis of inverse calculations allowing to receive coefficients of increment (decrease) of gaps (erroneous actions) of service personnel arising in the dynamic process of their employment relations.

Problem statement. The statistical data of fires at the enterprises of electric power industry of the Russian Federation were processed. The coefficients of characteristic influence (direct, indirect) were determined. It was necessary to solve the problem with dynamic presentation of service performance indicators (by years) to identify those areas that require the formation of management instructions by the head of the enterprise.

Problem solution. The example of inverse problem solution based on the construction of the objective tree, which is characterized by ease of use, visibility, dynamism, universality and uniformity is presented.

Conclusion. The results obtained can be integrated as an embedding into an expert or intelligent management system created at the enterprise (for example SAP).

Keywords: safety and security system; fire statistics; responsible service; impact indicator assessment; objective tree construction

For citation: Gvozdev E.V. Methodology of dynamic factor influence of services on security subsystems that ensure comprehensive security of enterprises. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):15-31. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.15-31 (rus.).

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

Введение

Для устойчивого функционирования промышленных предприятий, имеющих опасные производственные объекты (ОПО), предлагается создавать систему комплексной безопасности (СКБ), ставшую уже традиционной и неотъемлемой частью системы управления предприятием [1].

Для достижения главной цели в области комплексной безопасности промышленного предприятия, а именно — *минимизации (исключения) условий возникновения опасностей техногенного характера*, требуется достаточный объем ресурсного обеспечения, в содержание которого входят *материальные, финансовые, трудовые, энергетические, информационные, временные и другие средства* [2]. На основе анализа практики управления комплексной безопасностью (КБ) промышленных предприятий установлен факт наличия ограничений в ресурсной обеспеченности КБ, т.е. ограниченных возможностей предприятия в покрытии запроса на обеспечение ресурсом, запрашиваемого от руководителей служб (отделов) — кураторов направлений, входящих в КБ (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда, информационной безопасности и антитеррористической защищенности, экологической безопасности (далее — службы)).

Решение вопросов, связанных с КБ, становится актуальным и востребованным аспектом не только на уровне предприятий, но и на государственном уровне. Однако до настоящего времени среди топ-менеджеров ведомственных направлений безопасности еще не выработано единого мнения, обосновывающего выбор решения в сторону *централи-*

зации КБ или ее *децентрализации*. До сих пор в обществе управленцев-практиков, решающих задачи КБ, просматривается их явное разделение на два противоположных лагеря: сторонников и противников централизации.

Сторонниками централизации КБ являются директора промышленных предприятий, так как проведение такой реформы позволит создать на предприятии единый орган управления КБ, качественно функционирующий не только в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), но и в ходе повседневной деятельности предприятия. Кроме того, планирование ресурса для поддержания СКБ предприятия в требуемом состоянии будет осуществляться не на основе интуитивных соображений каждого из руководителей и специалистов (ведомственных) направлений безопасности предприятия, а на основе реализации утвержденных регламентированных методических указаний, что позволит направлять ресурс именно в те места, которые имеют наиболее высокие показатели по риску.

К противникам централизации КБ относится руководящий состав ведомственных направлений безопасности, созданных на государственном уровне. Данная категория «корифеев» в направлениях безопасности из-за наличия различных объективных и субъективных причин считает свое отраслевое направление безопасности наиболее значимым, приоритетным по отношению к остальным направлениям. В таких условиях положительной динамики в решении задач, связанных с совершенствованием отраслевой подсистемы безопасности, можно добиться только за счет расширения полномочий

ведомственного направления безопасности, а также ужесточения требований к исполнителям (предприятиям, организациям). При таком однозначном подходе для решения задач КБ на уровне предприятий, организаций потребуется постоянное наращивание ресурса для качественного функционирования каждой из отраслевых подсистем безопасности, входящих в КБ (промышленной и пожарной безопасности, охраны труда, информационной безопасности и антитеррористической защищенности, экологической безопасности).

Автор статьи, являясь сторонником рациональной централизации КБ, в проводимых исследованиях представлял в виде сравнений существующую и перспективную в плане совершенствования модели функционирования СКБ (рис. 1) [1, 2].

Представленная (см. рис. 1) существующая модель функционирования СКБ (слева) характеризуется наличием полей 1 (поля пробелов), а также полями 2 (поля пересечений). Проведенный анализ статистики возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера указывает на наличие опасностей, которые отнесены к прочим (8...12 % от общего количества), имеющим принадлежность к полям 1. Опасности этого типа возникают из-за нечеткого взаимодействия между отраслевыми подсистемами безопасности. Поля пересечений 2 характеризуются избыточностью в наличии требований для исполнения, разработанных в каждой из отраслевых подсистем безопасности, что ведет к дополнительному привлечению ресурса для обес-

печения КБ [3]. Сделан вывод о том, что функционирующая на предприятиях СКБ (в виде отдельных отраслевых подсистем) становится уязвимой в тех местах, где направления деятельности недостаточно обеспечены ресурсной поддержкой для их безопасного функционирования [3].

Обеспечение комплексной безопасности промышленных предприятий осуществляется за счет снижения рисков в следующих направлениях, представленных на рис. 2.

В работе [1] проведено исследование и представлена информация об оценке показателя устойчивости функционирования СКБ промышленного предприятия по формуле:

$$U = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2}{n}} \cdot K_n, \quad (1)$$

где $P_1^2, P_2^2, \dots, P_n^2$ — показатели надежности функционирования подсистем безопасности;

K_n — поправочный коэффициент.

Показатель же надежности функционирования каждой отраслевой подсистемы безопасности рассчитывался по формуле:

$$P_{1-n} = \frac{\bar{P}_{\text{ффо}} + \bar{P}_{\text{отм}}}{2}, \quad (2)$$

где $\bar{P}_{\text{ффо}}$ и $\bar{P}_{\text{отм}}$ — расчетные коэффициенты запаса надежного функционирования отраслевой подсистемы, входящей в СКБ, которые включают показатели, связанные с функционированием

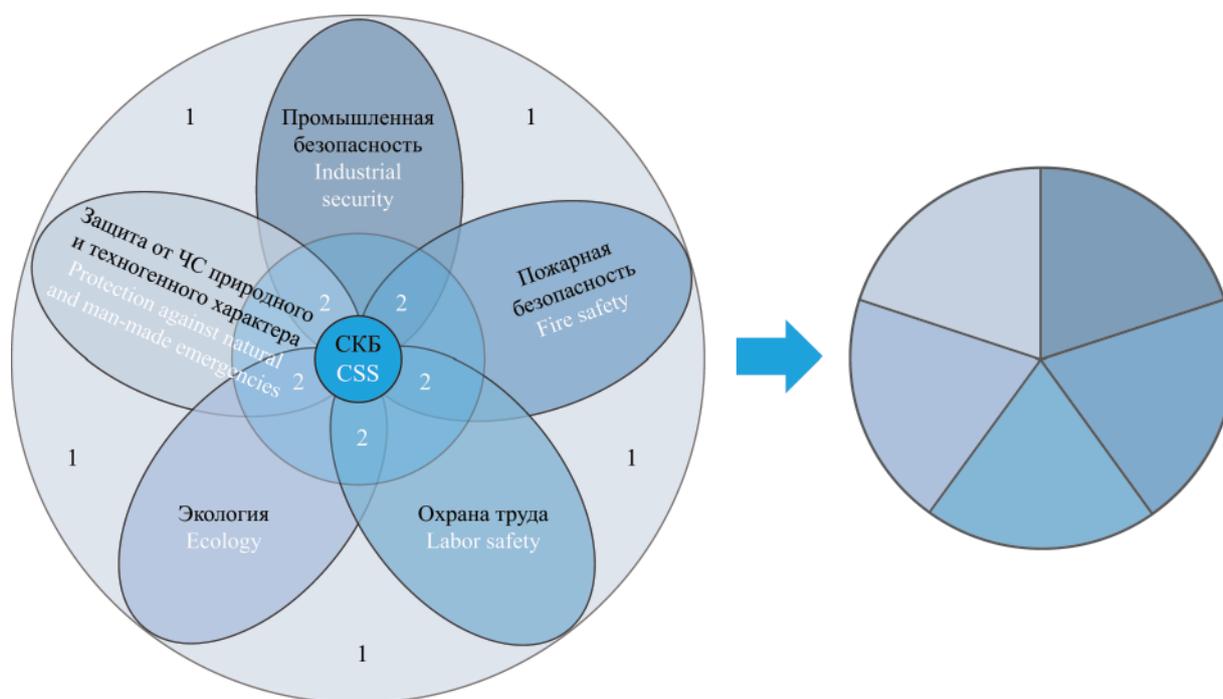


Рис. 1. Существующая и перспективная для совершенствования модели функционирования СКБ
 Fig. 1. Existing and promising for improving models of ISS functioning



Рис. 2. Структура обеспечения безопасного функционирования предприятия
 Fig. 2. Structure to ensure safe operation of the enterprise

физических объектов, участвующих в технологическом процессе производства (технический фактор) и реализации организационно-технических мероприятий персоналом (человеческий фактор (ЧФ)) [1].

Значение расчетного коэффициента запаса надежного функционирования отраслевой подсистемы, входящей в СКБ промышленного предприятия, связанного с определением показателей, имеющих отношение к техническим факторам, вычислялось по формуле:

$$\bar{P}_{\text{ффо}} = \frac{1 + U_p \sqrt{v_Q^2 + v_R^2 - (I_p v_R v_Q)^2}}{1 - (U_p v_R)^2}, \quad (3)$$

где I_p — показатель индекса технического состояния оцениваемого объекта ИТС_{ОО}:

$$I_p = \text{ИТС}_{\text{ОО}} = \sum_i (N_{\text{при}i} \text{ИТС}_i) / \sum_i N_{\text{при}i}, \quad (4)$$

где $N_{\text{при}i}$ — приведенная мощность i -го объекта;

ИТС _{i} — индекс технического состояния оборудования i -го объекта;

v_Q, v_R — коэффициенты вариации: v_Q — воздействия опасности и v_R — преодоления опасности.

Получение же показателя $\bar{p}_{\text{отм}}$, используемого в расчетной формуле (2), потребовало применения моделей, способных производить расчеты в количе-

ственном выражении качества следующих характеристик, входящих в содержание рассматриваемых показателей и связанных с:

- качественной разработкой нормативно-правовой (приказы, распоряжения, инструкции и др.), нормативно-методической (методические указания, методики, рекомендации и др.), технической (технические регламенты, технологические карты и др.) и справочной информации;
- реализацией управленческих воздействий для качественного управления СКБ, созданной на промышленном предприятии, основными функциями такого управления являются *планирование, организация, руководство, контроль и мотивация* персонала.

Для моделирования представленного показателя $\bar{p}_{\text{отм}}$ как показателя уровня СКБ, в которой активно участвует человек (персонал, работающий на промышленном предприятии), взаимодействующий с физическими объектами (системами), чьи действия определяются очень большим количеством факторов, требуется развитие методологии безопасного управления СКБ, созданной на данных предприятиях [4, 5].

Сегодня разработка и развитие методологии безопасного управления СКБ, созданной на промышленном предприятии, где задействован ЧФ, становятся актуальными и востребованными [6–8].

Статистикой подтверждены следующие факты: более 90 % аварий — на объектах атомной энергетики, более 80 % аварий — на объектах химической и нефтехимической промышленности, более 75 % аварий — при шельфовой нефтедобыче и более 70 % авиационных аварий связаны с человеческим фактором [6].

В данной статье ресурсное обеспечение СКБ промышленного предприятия будет представляться с точки зрения выполнения трудовых функций (задач) штатных работников служб (структурных подразделений) по профилактике предупреждения (предотвращения) опасностей, т.е. в плане реализации задач контроля (надзора) комплексной безопасности предприятия.

Основная цель работы — определить показатели уровня воздействия на подсистему безопасности специалистами служб (структурных подразделений), входящих в СКБ промышленного предприятия, с целью выявления и внесения управляющих предписаний в те точки воздействия, которые влияют на общий показатель детерминированных опасностей на подобных предприятиях.

Объект исследования — система комплексной безопасности промышленного предприятия, за управление которой и качественное функционирование отвечают специалисты соответствующих служб (отделов, групп).

Предмет исследования — управленческое воздействие специалистов служб (отделов, групп), входящих в СКБ промышленного предприятия.

В представленной работе рассматривается оценка роли и важности человеческого фактора, являющегося решающим на стадии проведения мероприятий по профилактике условий возникновения опасностей и влияющего на динамику снижения (исключения) опасностей в техносфере. Управление человеческим фактором при обеспечении безопасности любой организационной системы имеет беспрецедентное значение в наши дни, так как риск возникновения опасностей по вине человека и ущерб от него достигают катастрофических значений. Представляемая к рассмотрению проблема имеет глобальный характер, наличие возможности в ее решении на государственном уровне позволит значительно укрепить позиции национальной безопасности страны [7].

Анализ влияния человеческого фактора на комплексную безопасность промышленных предприятий

Определяющая роль ЧФ во всех сферах жизнедеятельности вытекает из того, что основное число ЧС в промышленности, строительстве, на транспорте возникает в процессе эксплуатации (более 65...75 %), а из них около 55...65 % обусловлено

ошибочными, недостаточными, неквалифицированными, несвоевременными, несанкционированными или террористическими действиями человека. Около 10...15 % аварий связано с человеческим фактором при проектировании, до 30 % — при производстве объектов техносферы [6].

Проблема анализа ЧФ в комплексной безопасности является межотраслевой (межведомственной), требуется ее изучение на основе системного подхода. Методологически, с учетом специфики системного подхода появляется возможность сориентировать исследование на раскрытии целостности объекта, обеспечивающих его механизмов, выявлении многообразных типов связей, как результат — сведение полученных данных в единую картину.

Система комплексной безопасности промышленного предприятия — это целостная совокупность функционирующих и взаимодействующих между собой отраслевых подсистем безопасности, поддержание качественного функционирования которых осуществляется за счет ресурсного обеспечения, в том числе выполнения трудовых обязанностей персоналом служб, входящих в структуру СКБ промышленного предприятия ЧФ.

Обращаясь к проблеме исследования ЧФ, влияющего на комплексную безопасность промышленного предприятия, предполагается формулировка следующего утверждения: сам по себе этот фактор нейтрален, но от деятельности персонала зависит показатель эффекта, который будет преобладать — позитивный или негативный [8].

Для принятия эффективных управленческих решений большое значение имеет принцип интегральной оценки опасностей, согласно которому при управлении должны быть рассмотрены все события и обусловленные ими риски возникновения ЧС, а также взаимовлияние этих рисков — синергетические и каскадные эффекты. Одной из важных задач при этом является выбор, правильная ориентация управляющих действий и мероприятий, надзор и контроль их эффективности и своевременная корректировка [7].

Для моделирования такой сложной многоуровневой системы, как СКБ предприятия с опасными производственными объектами, наиболее подходящим является использование показателей значений (коэффициентов), рассчитываемых на основе *отказов (функциональных отказов)* [4].

В механике или технике под *функциональным отказом* понимается состояние системы, при котором оборудование не может выполнять предназначенные функции и поддерживать заданный уровень производительности. Другими словами, это — событие, проявляющееся в полной или частичной потере работоспособности оборудования или техни-

ческой системы [4]. Отказы в механике и технике классифицируются по ряду признаков, т.е. выявляются причины и условия их возникновения, а затем разрабатываются мероприятия по их предупреждению и устранению.

Так как рассматриваемая СКБ промышленного предприятия относится к организационной системе управления, ставшей уже традиционной, *отказ элемента такой системы управления* — это событие (*конечное событие*), связанное с возникновением опасности (авария, пожар, взрыв), реализованной из-за недостатков (пробелов) в организации контрольно-надзорной деятельности и взаимодействия функциональных подразделений, входящих в СКБ промышленного предприятия (*промежуточное событие*). Моделирование и исследование *отказа (функционального отказа)* элемента системы управления под воздействием множества факторов в СКБ промышленного предприятия, определение степени их влияния — задачи очень трудоемкие.

По причине того, что основная доля числа возникающих опасностей (взрыв, пожар, ущерб здоровью или гибель работающего персонала) имеет наибольший показатель по числу детерминированных возникших событий и зависит от качественной реализации задач профилактической работы служб, входящих в СКБ промышленного предприятия, возникает необходимость во введении *следующих ограничений*:

- рассмотрения в содержании СКБ промышленного предприятия *только трех* взаимодействующих между собой отраслевых подсистем безопасности (промышленной безопасности, пожарной безопасности, охраны труда) по причине того, что рассматриваемые направления имеют наиболее высокие показатели числа реа-

лизованных опасностей (авария, взрыв, пожар, ущерб здоровью или смерть персонала);

- рассмотрения *внутренних факторов*, порождающих ряд противоречий между рассматриваемыми поименованными подсистемами безопасности, входящими в СКБ предприятия, так как требуется обеспечить ее формирование и содержание ресурсом (персоналом), выполняющим трудовые функции (задачи) в отдельных отраслевых направлениях безопасности.

Пространство последовательного нарастания событий, связанных с работой служб, участвующих в обеспечении качественного функционирования рассматриваемых подсистем безопасности, рассмотренное с точки зрения причинно-следственных связей, представлено на рис. 3.

На рис. 3 показана последовательность нарастания событий, включающая регулярные ситуации, события с дефектами, события с функциональными отказами, инициирующие, промежуточные и конечные события (события-аварии, события-ЧС).

В результате проведения исследований в области влияния обеспечивающих служб на безопасность объектов различного назначения сделаны выводы о том, что основная причина возникновения опасностей заключается в наличии недоработок (пробелов) (*исходных событий*), которые имеют свойство нарастать и приводить к возникновению отказов (функциональных отказов) в управлении СКБ предприятия (*промежуточное событие*), которые при определенных условиях могут быть реализованы в виде опасностей, наносящих повреждение (ущерб) техногенному пространству (*итоговое событие*) (см. рис. 3).

На основе анализа исследований, связанных с возникновением опасностей, выделяются четыре

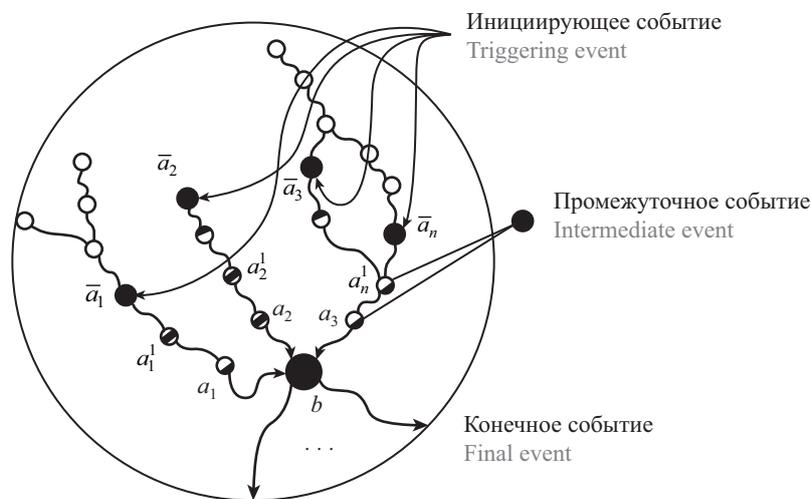


Рис. 3. Пространство последовательного нарастания событий

Fig. 3. Sequential event growth space

укрупненных направления, рассматривающих роль ЧФ при воздействии на СКБ промышленного предприятия.

1. Направление, рассматривающее человека и взаимодействующих с ним физических объектов в виде человеко-машинных комплексов (ЧМК) с точки зрения надежности [9, 10].

2. Направление, рассматривающее функциональные и физиологические возможности человека-оператора при штатных и аварийных ситуациях [11–13].

3. Направление, рассматривающее требуемый уровень подготовки специалиста-оператора, оценки его готовности к выполнению трудовых функций [14, 15].

4. Направление, связанное с организацией рабочего места специалиста, т.е. формирование комфортного эргатического пространства [16].

Отличие настоящей работы от представленных исследовательских направлений заключается в том, что в данной работе впервые рассматривается новое направление, связанное с влиянием ЧФ на комплексную безопасность промышленного предприятия, где упор будет сделан на исследование показателей управленческого воздействия персоналом служб (структурных подразделений), участвующих в формировании и поддержании устойчивого функционирования СКБ, созданной на предприятии.

Обоснование выбора метода исследования

Выбор методов, используемых для решения задач в области факторных воздействий служб на отраслевые направления, входящие в СКБ, осуществляется с учетом построения сценарно-процессных моделей на основе детерминированных реализованных событий [8]. Выбранный метод должен предусматривать возможности влияния каждого из рассматриваемых факторов на результирующий целевой показатель, при этом в случае такой сложной многоуровневой системы, как СКБ, будем говорить о влиянии на ее состояние множества различных воздействующих факторов. Основная идея влияния ЧФ на комплексную безопасность заключается в разложении общей вариации результирующей функции на отдельные, не зависящие друг от друга компоненты, каждая из которых будет охарактеризована и оценена с учетом взаимодействия множества факторов [17].

Примерная классификация задач влияния ЧФ на комплексную безопасность предприятий с точки зрения использования математических методов [18] представлена на рис. 4.

Представленный на схеме набор задач КБ, решаемых на основе факторного анализа (см. рис. 4), указывает на наличие широкого спектра возможно-

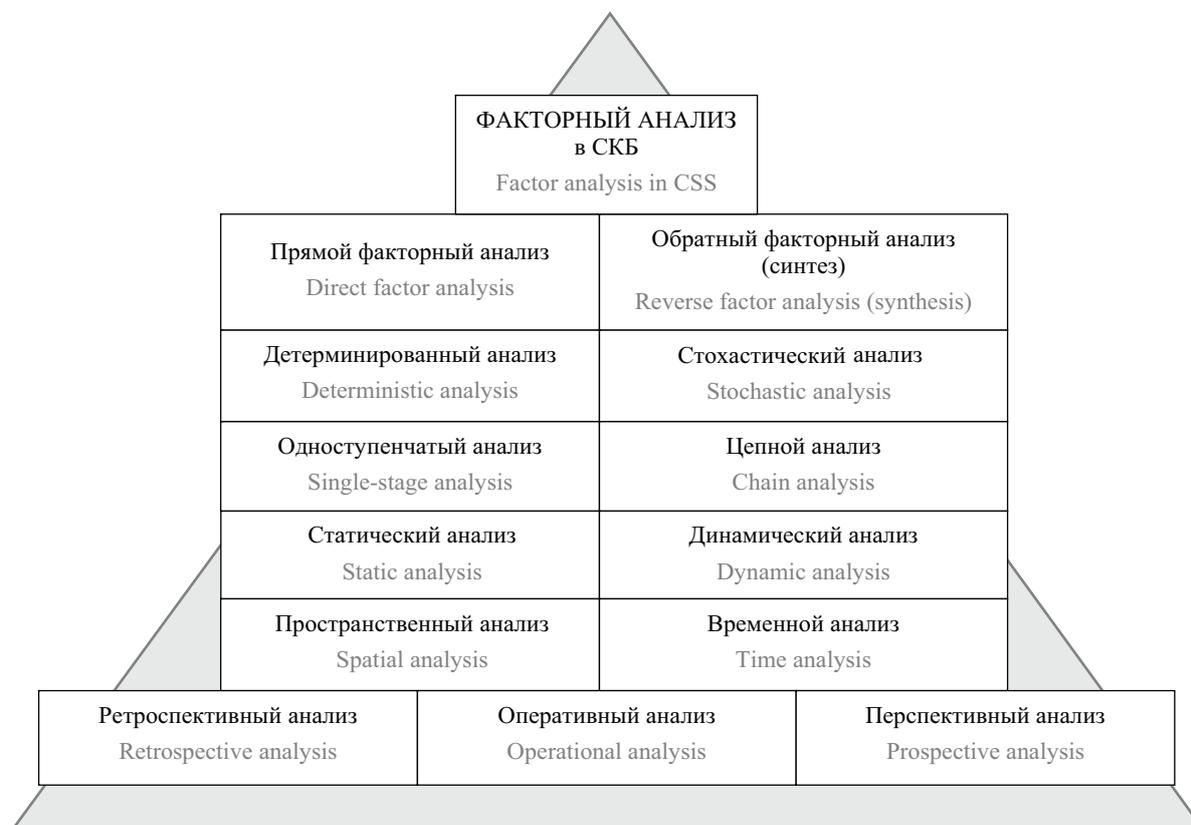


Рис. 4. Схема классификации задач факторного анализа в комплексной безопасности

Fig. 4. Scheme of classification of factor analysis objectives in integrated safety and security

стей в определении абсолютного отклонения влияющего фактора на абсолютное изменение результирующего показателя КБ. В этом случае соотношение между приращением результирующего показателя и приращением факторов будет найдено по формуле:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \Delta A_{X_i} = \Delta A_{X_1} + \Delta A_{X_2} + \dots + \Delta A_{X_n}, \quad (5)$$

далее последует постановка задачи разложения приращения функции на составляющие ΔA_{X_i} , характеризующие изменение влияния i -го фактора на изменение результирующего показателя.

В качестве примера прямого детерминированного факторного анализа в КБ с учетом сформулированных в статье ограничений рассматриваются соотношения между:

- коэффициентами показателей влияния служб на КБ и их численности (y — общий показатель влияния; x, z, p — наименование служб при заданной функциональной форме связи $y = xzp$);
- коэффициентами отношения показателей реализованных опасностей к службам, участвующим в обеспечении КБ (y — общий показатель реализованной опасности; x, z, p — показатели реализованных опасностей в службах при заданной функциональной форме связи $y = \frac{x}{zp}$).

Однако наряду с предложенным подходом к решению представленных аналитических задач методом прямого детерминированного факторного анализа, позволяющего детализировать показатели влияния факторов и разбивать их на составляющие, существует обратная сторона, требующая рассмотрения, — *решение группы задач синтеза*. В этом случае ставится обратная задача на основе обратных вычислений [19]. Решение таких задач возможно за счет применения метода дерева целей (рис. 5)

Реализация подхода, представленного на рис. 5, позволяет в динамике определить предел прироста

(убывания) показателей α и β при условии, что $\alpha + \beta = 1$ (const).

Рассмотрим возможность практической реализации описанного подхода (см. рис. 5). Допустим, значение узла A превысило допустимый предел (рис. 5, *a*), т.е. формула запишется в виде:

$$A + \Delta A > A + \Delta A_{\text{доп}}. \quad (6)$$

Тогда для этого узла (рис. 5, *б*) рассчитывается α' (при выполнении условий $\Delta A = A_{\text{доп}}$), а β' приобретает новое значение, обеспечивающее достижение требуемого показателя ΔP . Формула для перерасчета следующая:

$$\alpha' = \frac{\alpha_i \cdot \Delta A'_i}{\Delta A}, \quad (7)$$

где α' — новый коэффициент относительной важности (КОВ), обеспечивающий достижение $\Delta A_{\text{доп}}$; $\Delta A'_i$ — допустимый предел изменения ΔA_i ; ΔA_i — прирост, требуемый коэффициентом α .

Для расчета β' (см. рис. 5, *б*) определяется новый вес оставшихся показателей:

$$\sigma = 1 - \sum_{i=1}^n \alpha'_i, \quad (8)$$

где $\sum_{i=1}^n \alpha'_i$ — сумма всех вновь рассчитанных КОВ;

n — количество вновь рассчитанных показателей.

Тогда КОВ для каждого вновь рассчитанного показателя будет равен:

$$\beta'_j = \beta_j \frac{\sigma}{\sum_{i=1}^m \beta_j}, \quad (9)$$

где m — количество показателей, не изменивших свой статус;

β'_j — вновь рассчитанный КОВ для показателя;

β_j — предыдущее значение КОВ для показателя;

$\sum_{i=1}^m \beta_j$ — сумма всех КОВ, не изменивших свой статус.

Таким образом, представленный подход с применением метода дерева целей и расчетов на основе обратных вычислений позволит определить те вершины, для которых недостаточно требуемого ресурса (воздействия служб на подсистемы безопасности), о чем орган управления СКБ будет проинформирован.

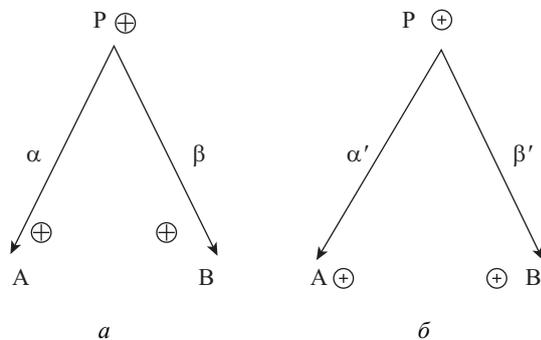


Рис. 5. Схема формирования дерева целей на основе обратных вычислений

Fig. 5. Scheme of forming the objective tree on the basis of inverse calculations



Рис. 6. Анализ причин возникновения пожаров на предприятиях электроэнергетики РФ за период 2017–2019 гг.

Fig. 6. Analysis of the causes of fires in the electric power industry of the Russian Federation for 2017–2019

Постановка и решение задачи определения показателя влияния службы (структурного подразделения) на функционирование СКБ

Для анализа и оценки влияния службы (структурного подразделения) на функционирование СКБ важно подтвердить следующие предположения:

- рассмотрение СКБ в таком виде, в котором раскрывается структура и предпосылки возникновения опасностей, что позволяет углубить представление об исполнении в данной системе применяемых средств (ресурсного обеспечения) и мероприятий защиты;
- рассмотрение СКБ не только с точки зрения представления факторно-параметрических показателей и критериев, зависящих от установленных требований в отраслевых подсистемах безопасности (промышленной безопасности, пожарной безопасности, охране труда), но и установления факторов явных зависимостей возникновения детерминированных опасностей от работы служб (структурных подразделений), участвующих в реализации задач контрольно-надзорной деятельности.

С точки зрения реализации детерминированных опасностей, на промышленных предприятиях электроэнергетики, имеющих ОПО, рассматривались пожары. На основании запроса информации¹,

¹ О предоставлении карточек учета пожаров : Информационное письмо от Начальника ФГБУ ВНИИПО МЧС России № 1993-1-29-11-6 от 18.11.2019.

проводился анализ возникновения пожаров на предприятиях электроэнергетики за трехлетний период (2017–2019 гг.) (рис. 6).

Обработка статистических данных о пожарах на предприятиях электроэнергетики за период 2017–2019 гг. позволила установить зависимость между причинами возникновения пожаров (обозначены соответствующими кодами причин возникновения пожаров) (см. рис. 6), их отношением к службе, участвующей в обеспечении КБ предприятия. Расшифровка кодов причин возникновения пожаров представлена в табл. 1².

Рассмотрение сценариев развития пожаров на основе обработки массива данных о реализации их при соотношении *причина – следствие* позволило на уровне причин сделать вывод о том, что динамика нарастания промежуточных событий (см. рис. 3) во многом зависит от воздействия служб (структурных подразделений), входящих в СКБ промышленного предприятия. Основная причина нарастания промежуточных событий заключается в наличии внутренних факторов, порождающих группу противоречий, возникающих вследствие пробелов во взаимодействии. В таких условиях идет накопление противоречий, которые могут быть преодолены изменениями организационной структуры, применением усовершенствованных средств и методов управления.

² О формировании электронных баз данных учета пожаров и их последствий : Приказ МЧС России от 24.12.2018.

Таблица 1. Количественные данные о причинах возникновения пожаров

Table 1. Quantitative data on the causes of fires

Код причины возникновения пожаров Fire cause code	Причина возникновения пожара Cause of fire
8	Прочие причины, связанные с неисправностью производственного оборудования Other causes related to production equipment malfunction
9	Недостаток конструкции и изготовления электрооборудования Lack of design and manufacture of electrical equipment
10	Нарушение правил монтажа электрооборудования Violation of the rules for the installation of electrical equipment
11	Нарушение правил технической эксплуатации (ПТЭ) электрооборудования Violation of the electrical equipment operating rules (PTE)
12	Нарушение правил пожарной безопасности (ППБ) при эксплуатации бытовых электроприборов Violation of fire safety regulations (FSR) in the operation of household electrical appliances
13	Нарушение ППБ при проведении электрогазосварочных работ Violation of fire safety regulations (FSR) during electrical and gas welding works
15	Самовозгорание веществ и материалов Self-ignition of substances and materials
17	Нарушение ППБ при эксплуатации печей Violation of fire safety regulations (FSR) during furnace operation
20	Нарушение ППБ при эксплуатации теплогенерирующих агрегатов и устройств Violation of fire safety regulations (FSR) during operation of heat generating units and devices
25	Прочие причины, связанные с неосторожным обращением с огнем Other reasons related to careless handling of fire
28	Прочие причины, не относящиеся ни к одной из групп Other reasons not belonging to any of the groups
32	Нарушение правил технической эксплуатации (ПТЭ) и выбора аппаратов защиты электрических сетей Violation of the operating rules (PTE) and selection of devices for protection of electrical networks
33	Прочие причины, связанные с нарушением правил устройства и эксплуатации электрооборудования Other reasons related to the violation of the rules of design and operation of electrical equipment

Важным средством управления мероприятиями, направленными на исключение (минимизацию) условий возникновения пожаров на промышленном предприятии, является проведение профилактики с помощью функций контроля и надзора. Указанные функции характеризуются общностью в достижении следующих целей:

- *контроля и надзора в области комплексной безопасности*, направленных на проведение проверки законности и целесообразности исполнения правовых, организационных, организационно-технических и ресурсно-обеспечивающих мероприятий;
- *контроля и надзора в области ПБ*, направленных на определение состояния комплексной безопасности промышленного предприятия, уровня ее оценки [5].

На рис. 7 представлена многоуровневая модель анализа возникновения *исходных и промежуточных* событий, приводящих к пожарам, с помощью которой появляется возможность на каждом из представленных уровней управления определить наиболее вероятные причины (недоработки, проблемы), имеющие отношение к ЧФ.

Рассмотрим линейно-функциональную уровневую модель для управления комплексной безопасностью электроэнергетического промышленного предприятия, имеющую следующие уровни управления (рис. 7):

- *уровень 4 (регулирующий)* — уровень государственного регулирования задач, связанных с комплексной безопасностью промышленного предприятия. Представляется созданием ведомственных отраслевых направлений по надзору (Ростехнадзор, МЧС, Минтруд и т.д.), а также

контролю (Минэнерго). На данном уровне разрабатываются *требования* в виде принятых для исполнения нормативно-правовых актов (НПА), а также *механизма реализации установленных требований*, в виде нормативных документов (НД);

- *уровень 3 (обеспечивающий)* — уровень работы органа управления предприятия с ОПО, создающий структуру и численность (ресурсное обеспечение) персонала функциональных направлений, входящих в СКБ промышленного предприятия. На данном уровне регламентируется деятельность персонала (инструкции), определяется порядок взаимодействия между

функциональными направлениями, входящими в СКБ предприятия;

- *уровень 2 (исполнительный)* — объектовый уровень качественного выполнения работы персоналом функциональных направлений, входящих в СКБ промышленного предприятия;
- *уровень 1 (возникновения конечных событий)* — структурный уровень, позволяющий установить зависимость между причиной пожара через привязку к его месту возникновения, что позволяет проследить цепочку в деятельности служб (структурных подразделений), входящих в СКБ промышленного предприятия.

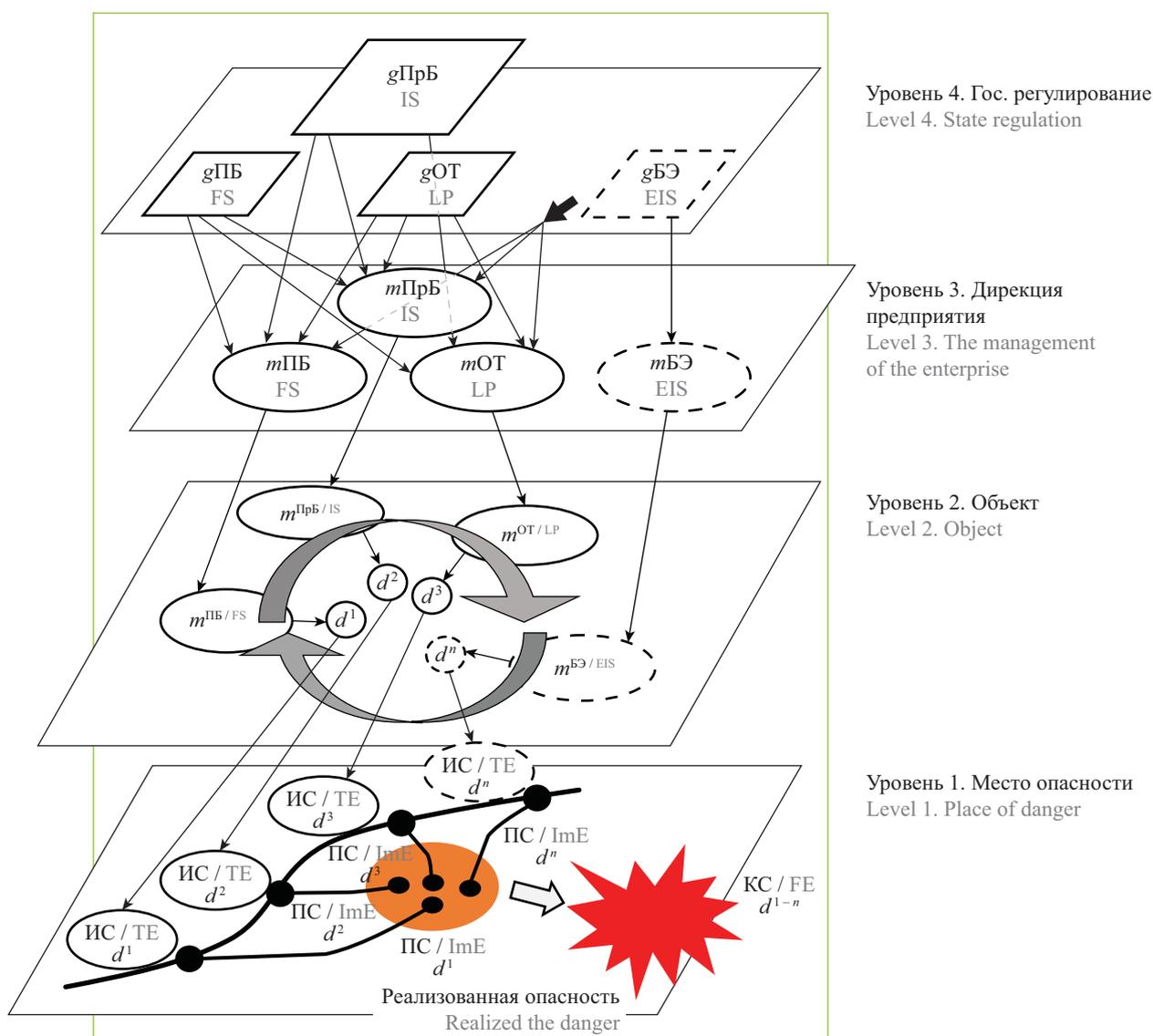


Рис. 7. Линейно-функциональная уровневая модель возникновения и нарастания событий, приводящих к пожарам: ПрБ — промышленная безопасность; ПБ — пожарная безопасность; ОТ — охрана труда; БЭ — безопасность электроэнергетики; ИС — инициирующие события; ПС — промежуточные события; КС — конечные события

Fig. 7. Linear-functional level model of occurrence and growth of events leading to fires: IS — industrial security; SR — safety rules; LP — labour protection; EIS — electric power industry safety; TE — triggering event; ImE — intermediate event; FE — final event

Последовательное прохождение событий, связанных с воздействиями на функционирование СКБ промышленного предприятия (декомпозиция целей и задач с построением причинно-следственных комплексов; введение набора свойств и множеств значений свойств, которые систематизируют показатели разнородных процессов; использование бинарных отношений для связей событий в процессе функционирования системы; применение фильтров, ограничивающих бинарные отношения и т.д.), позволит определить вероятные причины пожаров (исходные и промежуточные события) (рис. 8) [6].

Применение последовательного представления задач по воздействию функциональных структурных подразделений (ФСП), входящих в СКБ промышленного предприятия, позволяет провести их систематизацию и найти подход к их формализации [7].

Рассмотрим подход по оценке практического воздействия служб (структурных подразделений) на СКБ, созданную на крупном электроэнергетическом предприятии (компании «Мосэнерго»), обеспечивающем жителей Московского региона электроэнергией, теплом и горячим водоснабжением, имеющем опасные производственные объекты

на находящихся в его подчинении территориально-распределенных объектах (теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), районных (РТЭС) и комбинированных (КТЭС) тепловых электростанциях).

Для оценки степени воздействия ФСП, входящих в СКБ промышленного предприятия, с помощью экспертов было определено четыре показателя воздействия служб (электроэнергетической, промышленной безопасности, пожарной безопасности, охраны труда) на подсистему пожарной безопасности. Экспертами применялся метод анализа иерархий [20], позволяющий попарным сравнением определять числовые значения по установленным критериям, которые представлены в табл. 2.

В табл. 3 представлены исходные данные в виде количественных показателей, сгруппированных в соответствии с причинами возникновения пожаров и оценкой влияния служб на подсистему пожарной безопасности. Путем нормирования суммарных значений получим величины весовых коэффициентов β , которые представляют собой оценки влияния служб на подсистему безопасности. Так, для прямого, непосредственного, опосредованного и косвенного воздействий значения будут равны 0,43, 0,28, 0,19, 0,1, соответственно.

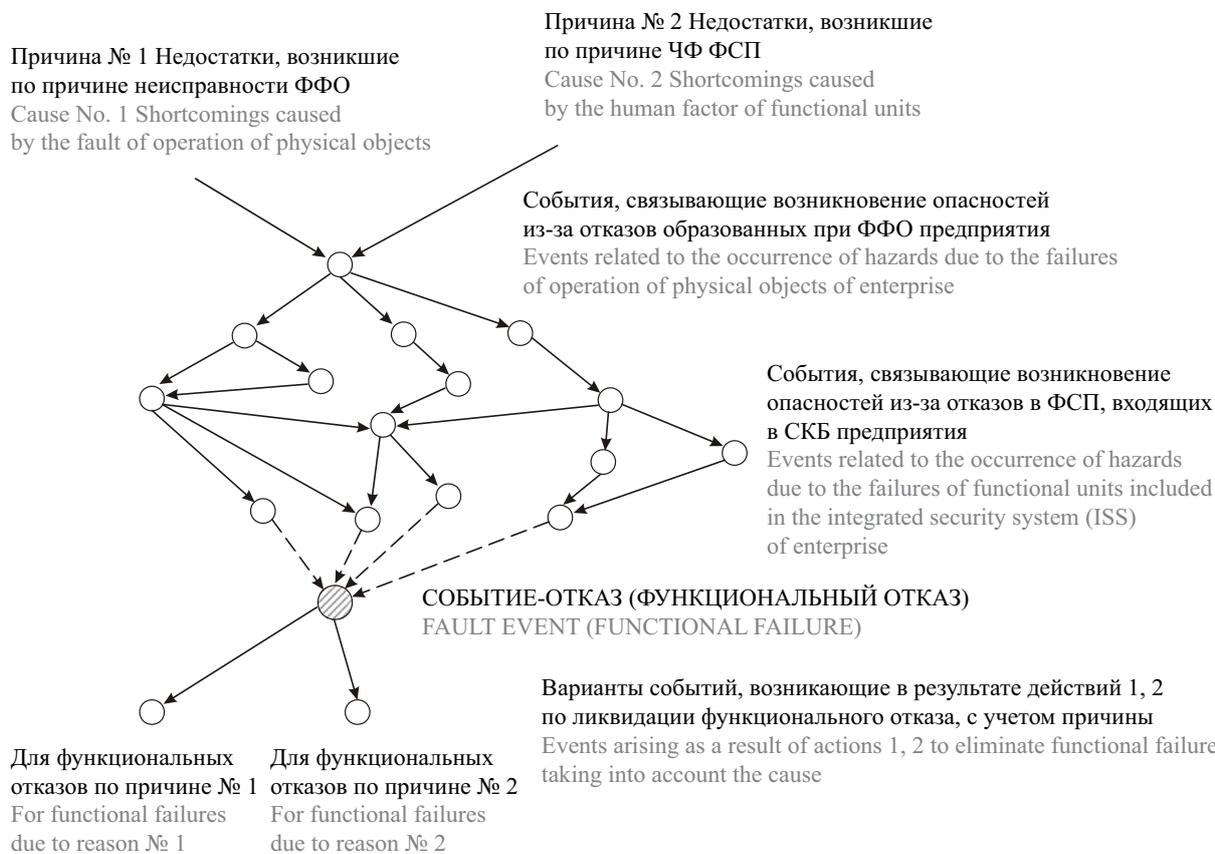


Рис. 8. Модель возникновения и нарастания событий, приводящих к пожарам
Fig. 8. Model of occurrence and growth of events leading to fires

Таблица 2. Результат метода попарных сравнений**Table 2.** Result of the pairwise comparison method

Вид воздействия Type of action	Прямое воздействие Direct action	Непосредственное воздействие Direct action	Опосредованное воздействие Indirect action	Косвенное воздействие Indirect action	Итого Total
Прямое воздействие Direct action	—	1,5	1,5	1,5	4,5
Непосредственное воздействие Direct action	0,5	—	1,5	1,5	3,5
Опосредованное воздействие Indirect action	0,5	0,5	—	1,5	2,5
Косвенное воздействие Indirect action	0,5	0,5	0,5	—	1,5

Таблица 3. Оценки влияния служб промышленного предприятия на подсистемы безопасности**Table 3.** Impact assessments of industrial enterprise “services” on security subsystems

Код причины возникновения пожаров Fire cause code	Электротехническая служба Electrical service	Служба промышленной безопасности Industrial safety service	Служба пожарной безопасности Fire safety service	Служба охраны труда Occupational safety service
8	0,1	0,1	0,1	0,1
9	0,19	0,19	—	—
10	0,1	0,1	—	—
11	0,43	0,1	—	—
12	0,1	—	0,43	—
13	0,1	—	0,43	—
15	0,19	—	0,1	0,1
17	0,19	—	0,1	0,1
20	0,19	—	0,1	0,1
25	0,1	0,1	0,1	0,1
28	0,1	0,1	0,1	0,1
32	0,43	0,1	—	—
33	0,43	—	—	0,1

Используя данные табл. 1, можно вычислить оценку риска возникновения пожаров по каждой из факторных групп:

$$r_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_{ji})^2}{n}}, \quad (10)$$

где q_{ji} — количество случаев в j -м году, вызванных причиной i ;

r_i — риск возникновения пожара по i -й причине;

n — число рассматриваемых лет.

Путем умножения коэффициентов β , отражающих оценку воздействия службы на подсистему безопасности, на риск возникновения пожаров (или количественные значения) формируется оценка деятельности отдельной (электроэнергетической, промышленной безопасности, пожарной безопасности, охраны труда) службы:

$$I_k = \sum_{i=1}^m r_i \cdot \beta_i, \quad (11)$$

где I_k — показатель деятельности k -й службы;

m — число причин возникновения пожаров.

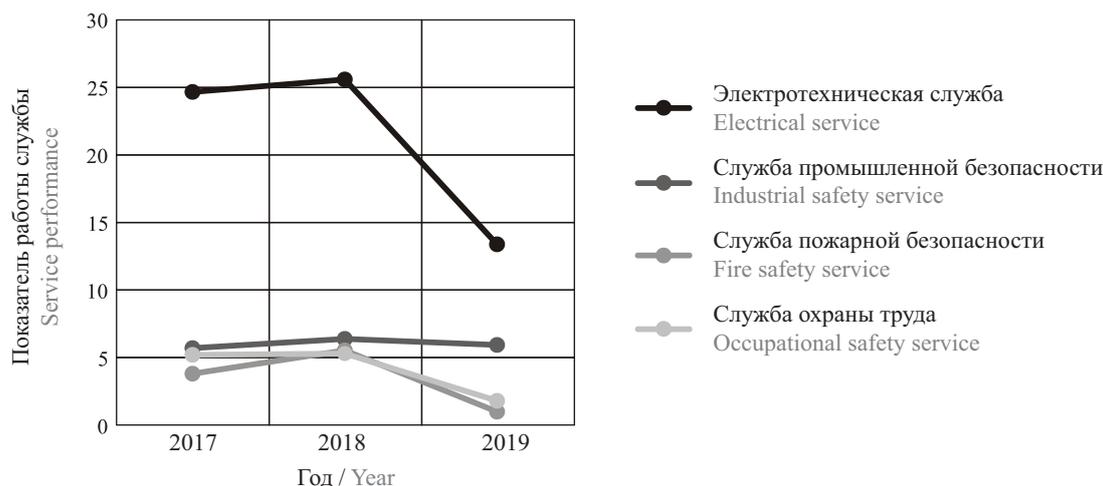


Рис. 9. Динамика показателя работы служб в годовом исчислении
Fig. 9. Dynamics of service performance on an annualized basis

Суммарный показатель деятельности всех служб будет вычислен по формуле:

$$I = \sum_{k=1}^s I_k, \quad (12)$$

где s — количество служб [21].

На рис. 9 в динамике представлен показатель работы всех служб, где просматривается их положительная динамика (за исключением службы промышленной безопасности), при этом значительное изменение отнесено к работе электротехнической службы.

Выводы

Представлен концептуальный подход к решению проблемы комплексной безопасности на промышленных предприятиях. Реализация подхода в предлагаемой постановке на основе рассмотрения ЧФ, влияющего на комплексную безопасность, позволит проводить наблюдение за организацией работы служб, входящих в СКБ промышленного предприятия и выполняющих трудовые обязанности в отраслевых направлениях безопасности.

Практически, с помощью метода анализа иерархии с применением парного ранжирования определены количественные показатели воздействия служб на подсистему безопасности (пожарную безопасность), затем, на основе синтеза аналитических исследований (решение обратных задач с построением дерева целей) подтверждается адекватность расчетов, что в перспективе в масштабах предпри-

ятий позволит вести наблюдение за изменением динамики роста или снижения детерминированных опасностей, связанных с пожарами.

Научную основу дальнейшей работы будет представлять подробное исследование и теоретическое описание работы функциональных направлений комплексной безопасности на различных уровнях функционирования (см. рис. 6), которое будет включено в содержание методики оценки влияния человеческого фактора на состояние СКБ промышленного предприятия. Эта методика позволит решить поставленную в статье задачу. Именно отсутствие в данный момент вышеназванной методики является тормозом развития и совершенствования СКБ.

В перспективе при реализации представленного подхода может быть создана экспертная или интеллектуальная система управления СКБ промышленного предприятия.

Реализация предлагаемого подхода позволит повысить устойчивость функционирования СКБ на промышленном предприятии, а при его использовании на других предприятиях — перевести их СКБ на более высокий качественный уровень.

В итоге реализация представленного к рассмотрению подхода в перспективе даст возможность разработать методологию синтеза адаптивной СКБ для решения научной проблемы динамического управления комплексной безопасностью промышленного предприятия, что имеет важное хозяйственное значение для России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гвоздев Е.В., Матвиенко Ю.Г. Комплексная оценка риска на предприятиях жизнеобеспечения, имеющих опасные производственные объекты // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 10. С. 69–78. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-10-69-78

2. *Гвоздев Е.В.* Методология синтеза адаптивной системы комплексной безопасности на предприятии жизнеобеспечения населения региона // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. Т. 29. № 2. С. 6–16. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.02.6-16
3. *Gvozdev E.V., Cherkina V.M.* The modern strategy to the process of managing complex security of the enterprise on the basis of rational centralization // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. Vol. 9. No. 1. Pp. 4614–4620. DOI: 10.35940/ijitee.A4944.119119
4. *Махутов Н.А., Матвиенко Ю.Г., Романов А.Н.* Проблемы прочности, техногенной безопасности и конструкционного материаловедения / под ред. Н.А. Махутова, Ю.Г. Матвиенко, А.Н. Романова М. : URSS, 2018. 720 с.
5. *Махутов Н.А., Гаденин М.М., Буйновский С.Н., Гражданкин А.И.* Научные основы промышленной безопасности в многотомном издании «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты» // *Безопасность труда в промышленности*. 2020. № 4. С. 17–26. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-17-26
6. *Абросимов Н.В., Агеев А.И., Адамов Е.О., Адушкин В.В., Акимов В.А., Алешин А.В. и др.* Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Техногенная, технологическая и техносферная безопасность / под ред. Н.А. Махутова. М. : Знание, 2018. 1016 с.
7. *Абросимов Н.В., Агеев А.И., Адушкин В.В., Акимов В.А., Аксютин О.Е., Алдошин С.М. и др.* Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Фундаментальные и прикладные проблемы комплексной безопасности / под ред. Н.А. Махутова. М. : Знание, 2017. 992 с.
8. *Chebotarev S.V.* Economic factorial analysis: general theory and original approaches // *The 4th International Carpathian Control Conference (ICCC2003) : Proceedings of the conference*. High Tatras, Slovak Republic, 2003. Pp. 795–798.
9. *Лобова И.В.* Организационно-методическое обеспечение разработки стратегии управления персоналом промышленного предприятия : дис. ... канд. экон. наук. Кострома, 2005. 243 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16062921>
10. *Gorecky D., Schmitt M., Loskyll M., Zühlke D.* Human-machine-interaction in the industry 4.0 era // *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. Porto Alegre, Brazil, 2014. DOI: 10.1109/INDIN.2014.6945523
11. *Сологуб А.М.* Модель управления человеческими ресурсами для Российских организаций : дис. ... канд. социол. наук. Ростов-на-Дону, 2005. 136 с.
12. *McDermott P.L., Ries A.J., Plott B., Touryan J., Barnes M., Schweitzer K.* A cognitive systems engineering evaluation of a tool to aid imagery analysts // *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. SAGE Publications, 2015. Vol. 59. No. 1. Pp. 274–278. DOI: 10.1177/1541931215591056
13. *Trueba-Alonso P., Corrales-Quirós C., Méndez-Salguero J., Rejas-López L.* Evolution of plant operation in main control rooms of nuclear power plants as a consequence of modernization programs // *11th Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies, NPIC and HMIT 2019*. Orlando, Florida, USA 9–14 February 2019. Vol. 2. New York : Curran Associates publ., 2019. Pp. 1053–1067.
14. *Солдатова И.А.* Управление человеческими ресурсами организации в условиях инновационного развития : дис. ... канд. социол. наук. М., 2009. 156 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19219960>
15. *Donham K.J., Thelin A.* General environmental hazards in agriculture communities // *Agricultural Medicine: Rural Occupational and Environmental Health, Safety, and Prevention, Second Edition*. John Wiley & Sons, 2016. Pp. 251–291. DOI: 10.1002/9781118647356.ch7
16. *Holt G.D.* Opposing influences on construction plant and machinery health and safety innovations // *Construction Innovation*. 2016. Vol. 16. No. 3. Pp. 390–414. DOI: 10.1108/CI-10-2015-0048
17. *Холодов П.П., Юнгблюдт С.В., Ботвенко Л.А.* Совершенствование методологии повышения квалификации руководителей и специалистов особо опасных производств ТЭКа как способ решения проблем безопасности // *Уголь*. 2018. № 4. С. 38–41. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-4-38-41
18. *Блюмин С.Л., Суханов В.Ф., Чеботарев С.В.* Экономический факторный анализ : монография. Липецк : ЛЭГИ, 2004. 147 с.
19. *Одинцов Б.Е.* Обратные вычисления в формировании экономических решений. М. : Финансы и статистика, 2004. 190 с.

20. Саати Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. М. : Радио и связь, 1993. 314 с.
21. Грибанова Е.Б. Методы решения обратных задач экономического анализа с помощью минимизации приращений аргументов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2018. Т. 21. № 2. С. 95–99. DOI: 10.21293/1818-0442-2018-21-2-95-99

REFERENCES

1. Gvozdev E.V., Matvienko Yu.G. Comprehensive risk assessment at the life support enterprises with hazardous production facilities. *Occupational safety in industry*. 2019; 10:69-78. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-10-69-78 (rus.).
2. Gvozdev E.V. Methodology for the synthesis of an adaptive integrated security system at a regional life support enterprise. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 29(2):6-16. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.02.6-16 (rus.).
3. Gvozdev E.V., Cherkina V.M. The modern strategy to the process of managing complex security of the enterprise on the basis of rational centralization. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019; 9(1):4614-4620. DOI: 10.35940/ijitee.A4944.119119
4. Makhutov N.A., Matvienko Yu.G., Romanov A.N. *Problems of strength, technogenic safety and structural material science* / ed. N.A. Makhutov, Yu.G. Matvienko, A.N. Romanov. Moscow, URSS publ., 2018; 720. (rus.).
5. Makhutov N.A., Gadenin M.M., Buinovskiy S.N., Grazhdankin A.I. Scientific fundamentals of industrial safety in the multivolume series “Safety of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects”. *Occupational Safety in Industry*. 2020; 4:17-26. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-4-17-26 (rus.).
6. Abrosimov N.V., Ageev A.I., Adamov E.O., Adushkin V.V., Akimov V.A., Aleshin A.V. et al. *Security of Russia. Legal, socio-economic, and scientific and technical aspects. Technogenic, technological and technosphere safety* / ed. N.A. Mahutova. Moscow, Znanie publ., 2018; 1016. (rus.).
7. Abrosimov N.V., Ageev A.I., Adushkin V.V., Akimov V.A., Aksyutin O.E., Aldoshin S.M. et al. *Security of Russia. Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. Fundamental and applied problems of complex security* / ed. N.A. Mahutova. Moscow, Znanie publ., 2017; 992. (rus.).
8. Chebotarev S.V. Economic factorial analysis: general theory and original approaches / S.V. Chebotarev. *The 4th International Carpathian Control Conference (ICCC 2003): Proceedings of the conference*. High Tatras, Slovak Republic, 2003; 795-798.
9. Lobova I.V. *Organizational and methodological support for the development of a personnel management strategy for an industrial enterprise* : dissertation ... candidate of economic sciences. Kostroma, 2005; 243. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16062921> (rus.).
10. Gorecky D., Schmitt M., Loskyll M., Zühlke D. Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. Porto Alegre, Brazil, 2014. DOI: 10.1109/INDIN.2014.6945523
11. Sologub M.A. *Human resource management Model for Russian organizations* : dissertation ... candidate of sociological sciences. Rostov-on-Don, 2005; 135. (rus.).
12. McDermott P.L., Ries A.J., Plott B., Touryan J., Barnes M., Schweitzer K. A cognitive systems engineering evaluation of a tool to aid imagery analysts. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. SAGE Publications, 2015; 59(1): 274-278. DOI: 10.1177/1541931215591056
13. Trueba-Alonso P., Corrales-Quirós C., Méndez-Salguero J., Rejas-López L. Evolution of plant operation in main control rooms of nuclear power plants as a consequence of modernization programs. *11th Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies, NPIC and HMIT 2019. Orlando, Florida, USA 9–14 February 2019. Vol. 2*. New York, Curran Associates, Inc, 2019; 1053-1067.
14. Soldatova I.A. *Human resource Management of organizations in the context of innovative development* : dissertation ... candidate of sociological sciences. Moscow, 2009; 156. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19219960> (rus.).
15. Donham K.J., Thelin A., Donham K.J., Thelin A. General environmental hazards in agriculture communities. *Agricultural Medicine: Rural Occupational and Environmental Health, Safety, and Prevention*. Second Edition. John Wiley & Sons publ., 2016; 251-291. DOI: 10.1002/9781118647356.ch7
16. Holt G.D. Opposing influences on construction plant and machinery health and safety innovations. *Construction Innovation*. 2016; 16(3):390-414. DOI: 10.1108/CI-10-2015-0048

17. Kholodov P.P., Jungbludt S.V., Butvenko L.A. Improving the methodology of training of managers and specialists particularly hazardous industries, enterprises of Fuel and energy complex as a way of solving security problems. *Ugol'*. 2018; 4:38-41. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-4-38-41 (rus.).
18. Blumin S.L., Sukhanov V.F., Chebotarev S.V. *Economic factor analysis* : monograph. Lipetsk, LEGI publ., 2004; 147. (rus.).
19. Odintsovo B.E. *Inverse calculations in the formation of economic decisions*. Moscow, Finance and statistics publ., 2004; 190. (rus.).
20. Saaty T.L. *The analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation*. New York, McGraw-Hill publ., 1980; 287.
21. Griбанова E.B. Methods for solving inverse problems of economic analysis by minimizing argument increments. *Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*. 2018; 21(2):95-99. DOI: 10.21293/1818-0442-2018-21-2-95-99

Поступила 13.07.2020, после доработки 27.07.2020;

принята к публикации 29.07.2020

Received July 13, 2020; Received in revised form July 27, 2020;

Accepted July 29, 2020

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Памяти Игоря Александровича Корольченко

Определение условий самовозгорания отложений горючих пылей на оборудовании, в вентиляционных системах и аспирационных установках зданий и сооружений

© Л.П. Вогман¹, Д.А. Корольченко², А.В. Хрюкин³✉

- ¹ Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)
- ² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)
- ³ Специальное управление ФПС № 37 МЧС России (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. Бахметьева, 1а)

АННОТАЦИЯ

Введение. Определение научно обоснованной периодичности очистки воздухопроводов местных отсосов производственных зданий и сооружений является одной из задач в области пожаробезопасности промышленных производств. В работе представлены расчетные методы, в частности метод определения периода индукции при самовозгорании отложений пыли в воздухопроводах вентиляционных систем и на оборудовании, который может быть использован при решении задач, направленных на разработку профилактических мероприятий, обеспечивающих их пожаровзрывобезопасность.

Методы. Для решения поставленной в настоящей работе цели и сопоставления показателей, полученных в расчетно-аналитической части исследований, с динамикой роста отложений на реальных объектах были выполнены натурные испытания, которые проводились на производственных объектах мукомольного комбината ОАО МК «Воронежский» и АО «Концерн «Созвездие»».

Результаты и их обсуждение. Сроки очистки от отложений вентиляционного (аспирационного) оборудования зданий и сооружений не могут быть универсальными для различных производств и должны учитывать динамику роста отложений в зависимости от специфики горючих отложений, загруженности производственных мощностей объекта защиты в тот или иной промежуток времени и условий эксплуатации оборудования. В результате проведения экспериментов было установлено, что места максимальных скоплений отложений чаще всего формируются на поверхностях соединений и на перегибах трубопроводов вентиляционных систем. Расчетно-аналитическим путем исследованы условия самовозгорания горючей пыли в зависимости от таких характеристик технологического процесса, как скорость движения потока пылевоздушной смеси в воздуховоде, а также диаметр поперечного сечения воздуховода.

Выводы. Построенные на основании выполненных исследований номограммы могут быть использованы для определения кратности очистки от горючих пылей оборудования и воздухопроводов систем промышленной вентиляции. В работе представлен расчет периода индукции самовозгорания отложений горючей пыли на примере ржаной муки при несимметричном теплообмене. Его значение обусловлено процессом накопления отложений горючей пыли до критической по условиям самовозгорания толщины.

Ключевые слова: пожарная безопасность; критические условия; кратность очистки оборудования; натурные исследования; период индукции

Для цитирования: Вогман Л.П., Корольченко Д.А., Хрюкин А.В. Определение условий самовозгорания отложений горючих пылей на оборудовании, в вентиляционных системах и аспирационных установках зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 4. С. 32–41. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.32-41

✉ Хрюкин Алексей Владимирович, e-mail: 79081404888@ya.ru

In memory of Igor A. Korolchenko

Determination of conditions for spontaneous combustion of combustible dust deposits on equipment, in ventilation systems, and aspiration systems of buildings and structures

© Leonid P. Vogman¹, Dmitriy A. Korolchenko², Aleksey V. Khryukin³✉

- ¹ All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIIPPO, 12, Balashiha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

- 2 Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)
- 3 Federal State Public Institutions "Special Department of the Federal Fire Service No. 37 of Emercom of Russia" (Bakhmeteyeva St., 1a, Voronezh, 394006, Russian Federation)

ANNOTATION

Introduction. Determination of the scientifically substantiated frequency of cleaning the ducts of local exhausts of industrial buildings and structures is one of the tasks in the field of fire safety of industrial enterprises. The paper describes design methods, in particular, a method for determination of the induction period during spontaneous combustion of dust deposits in air ducts of ventilation systems and equipment, which can be used in solving problems focused on the development of preventive measures to ensure their fire and explosion safety.

Methods. In order to solve the problem set in this paper and compare the indicators obtained in the calculation and analytical part of the studies with the growth dynamics of deposits in real facilities, field tests have been accomplished in the production facilities of the flour mill of OJSC MK "Voronezhsky" and JSC Concern "Sozvezdiye".

Results and discussion. The timeframes for cleaning of deposits on ventilation (aspiration) equipment of buildings and structures cannot be universal for various industries and must take into account the dynamics of the growth of deposits depending on the specifics of combustible deposits, the workload of the production facilities of the protected object in a given period of time, and the operating conditions of the equipment. As a result of the experiments, it was found that the places of maximum accumulations of deposits are most often formed on the surfaces of joints and on the bends of pipelines of ventilation systems. The conditions of spontaneous combustion of combustible dust are studied by calculation and analytical method, depending on such process characteristics as the speed of the dust-air mixture flow in the duct, as well as the diameter of the duct's cross section.

Conclusions. The nomograms built on the basis of the studies performed can be used to determine the multiplicity of cleaning of combustible dusts of equipment and air ducts of industrial ventilation systems. The paper provides a calculation of the period of induction of spontaneous combustion of combustible dust deposits using the example of rye flour with asymmetric heat transfer. Its significance is due to the process of accumulation of deposits of combustible dust to a critical thickness in terms of spontaneous combustion conditions.

Keywords: fire safety; critical conditions; cleaning time frame of equipment; field research; induction period

For citation: Vogman L.P., Korolchenko D.A., Khryukin A.V. Determination of conditions for spontaneous combustion of combustible dust deposits on equipment, in ventilation systems, and aspiration systems of buildings and structures. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):32-41. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.32-41 (rus.).

✉ Aleksey Vladimirovich Khryukin, e-mail address: 79081404888@ya.ru

Введение

Исследованию процессов теплового самовозгорания посвящено много работ у нас в стране [1–7] и за рубежом [8–15]. Существенно меньше внимания уделяется условиям самовозгорания пылей в вентиляционных системах. Однако статистические данные по пожарам, возникшим по причине самовозгорания [16, 17], свидетельствуют о том, что задача обеспечения пожарной безопасности систем вентиляции в производственных зданиях и сооружениях и, в частности, предприятиях по хранению и переработке растительного сырья является весьма актуальной.

Пожары в вентиляционном оборудовании происходят скрытно (накопление горючих отложений в воздуховодах и в оборудовании визуально не наблюдается), горение по отложениям осуществляется быстро и может распространяться на соседнее оборудование, а иногда сопровождаться взрывами газо-, паро-, пылевоздушных смесей с горючими отложениями, образующихся в технологическом оборудовании. Подобные пожары могут развиваться в результате самовозгорания отложений внутри воздуховодов.

К условию, способствующему распространению горения в системах местных отсосов, относится способ компоновки и монтажа оборудования, связывающий между собой отдельные аппараты. Внедрение экологически чистых и безотходных технологий с частично или полностью замкнутым циклом работы технологического оборудования и с применением систем фильтрации, улавливания, обезвреживания и утилизации промышленных выбросов приводит к объединению большого количества аппаратов в единое целое. Это, в свою очередь, благоприятствует условиям образования в них отложений по всей длине коммуникаций и расположенного в технологической цепи оборудования и строительных конструкций. Развитая сеть воздуховодов местных отсосов, объединяющая в единую систему несколько единиц различного оборудования, создает при возникновении пожара благоприятные условия для быстрого и скрытого распространения горения по поверхности отложений на смежное оборудование и строительные конструкции производственного здания, сооружения.

Наличие в оборудовании труднодоступных участков (мест) усложняет проведение профилактических работ по своевременной и качественной

очистке от горючих отложений, препятствует эффективному тушению пожара.

По мере роста слоя отложений в воздуховодах и в оборудовании создаются условия для воспламенения горючего слоя при появлении источника зажигания (например, нагретых до температуры самовозгорания отложений) и распространения пламени по поверхности отложений и (или) в паро-, пылевоздушной смеси.

Основным направлением в обеспечении пожаровзрывобезопасности технологического оборудования местных отсосов с горючими отложениями является предупреждение образования предельно допустимой по условиям самовозгорания толщины слоя горючих отложений. Это направление по профилактике пожаров и взрывов в системах местных отсосов может быть реализовано путем своевременной очистки оборудования при обоснованном графике работ.

Определение научно обоснованной периодичности очистки воздуховодов местных отсосов производственных зданий и сооружений является одной из задач настоящей работы.

Ранее авторами исследовался процесс распространения горения при самовозгорании отложений горючих жидкостей в вентиляционных системах в условиях несимметричного теплообмена слоя материала [18].

Настоящая работа выполнена в целях апробации новых расчетных методов исследования при решении задач по разработке профилактических мероприятий, обеспечивающих пожарную безопасность воздуховодов вентиляционных систем при эвакуации горючей пыли.

Расчетно-аналитические исследования условий самовозгорания отложений горючих пылей в воздуховодах систем вентиляции

Натурные испытания динамики роста отложений на реальных объектах. Для достижения поставленной в настоящей работе цели и сопоставления показателей, полученных в расчетно-анали-

тической части исследований, с динамикой роста отложений на реальных объектах были выполнены натурные испытания, которые проводились на производственных объектах мукомольного комбината ОАО МК «Воронежский» и АО «Концерн «Созвездие»» в течение полугода с ежемесячным отбором накоплений горючей пыли при штатном (безаварийном) режиме эксплуатации воздуховодов систем вентиляции [19, 20].

Механизм определения динамики роста отложений заключался в первоначальной очистке от отложений выбранного для проведения эксперимента участка оборудования и затем в ежемесячном, в течение полугода, контроле роста количества отложений весовым методом и с помощью устройства, предназначенного для определения толщины слоя отложений, — толщиномера.

Очистка систем вентиляции от отложений производилась после полной или частичной разборки звеньев воздуховодов, местных отсосов, элементов пылеочистительных устройств и вентиляторов.

Наиболее оптимальными методами являлись демонтаж и полная разборка элементов системы вентиляции на участке контроля для проведения очистки с последующей сборкой. Порядок разборки и сборки вентиляционных систем определялся на основании рабочей документации на оборудование с обязательным контролем целостности поверхностей воздуховодов, устойчивости крепления всех элементов системы, визуальным осмотром состояния мест соединений и креплений.

В результате проведения экспериментов было установлено, что места максимальных скоплений отложений чаще всего формируются на поверхностях соединений и на перегибах трубопроводов вентиляционных систем (рис. 1).

Очистка участка осуществлялась вплоть до полного удаления слоя отложений, образовавшихся в течение предыдущего контрольного периода.

В результате натурных испытаний установлено, что пыленакопление при высокой организации труда в штатном режиме эксплуатации оборудова-



Рис. 1. Процесс очистки перегиба трубопровода системы местных отсосов оборудования по обработке полимерных материалов АО «Концерн «Созвездие»» (отвод 45°, D190)

Fig. 1. Bend cleaning process in the pipeline system of local exhaust equipment for processing of polymer materials in JSC Concern «Sozvezdiye» (tap 45°, D190)

ния и систем вентиляции в легкодоступных местах идет с весьма низкой интенсивностью. В труднодоступных местах, особенно в воздуховодах систем вентиляции, этот процесс более заметен, но и в таких местах при ежемесячном наблюдении толщина отложений не превышала 0,001 м [19, 20]. На производственных объектах АО «Концерн “Созвездие”» эта величина была немного выше и составила 0,002 м. Столь невысокое значение максимальной толщины отложений обуславливается применением на данных объектах современного производственного оборудования, в том числе и с развитой системой фильтрации.

В табл. 1 представлены результаты проведенных натуральных исследований по определению скорости роста отложений в воздуховодах и на малодоступных местах криволинейных участков воздуховодов, а также в оборудовании при наиболее интенсивных условиях эксплуатации на производственных объектах мукомольного комбината ОАО МК «Воронежский» и АО «Концерн “Созвездие”».

Как следует из табл. 1, увеличение толщины слоя отложений пылей на производственных объектах мукомольного комбината ОАО МК «Воронежский» и АО «Концерн “Созвездие”» ежемесячно происходило приблизительно на одинаковую величину. Этот факт объясняется равномерной загруженностью производственных мощностей предприятий в течение полугода. В других исследованиях [18] результаты измерений в течение длительного периода роста горючих отложений были иными. Следовательно, сроки очистки от отложений вентиляционного (аспирационного) оборудования зданий и сооружений не могут быть универсальными для различных производств и должны учитывать динамику роста отложений в зависимости от специфики горючих отложений, загруженности производственных мощностей объекта защиты в тот или иной промежуток времени и условий эксплуатации оборудования.

Условия теплового самовозгорания отложений горючей пыли. Определение периода индукции до самовозгорания в оборудовании. Полученные

Таблица 1. Результаты натуральных исследований

Table 1. Field studies results

Объект контроля Controlled facility	Максимальная толщина слоя отложений, мм, по месяцам The maximum thickness of the layer of deposits, mm					
	Июль July	Август August	Сентябрь September	Октябрь October	Ноябрь November	Декабрь December
	Перегиб трубопровода аспирационной системы размольного отделения ОАО МК «Воронежский» (отвод 90°, D160) Bent of the pipeline of the aspiration system in the grinding circuit of OJSC МК “Voronezhsky” (tap 90°, D160)	0,17	0,18	0,18	0,17	0,19
Перегиб трубопровода системы местных отсосов оборудования по обработке полимерных материалов АО «Концерн “Созвездие”» (отвод 45°, D160) Bend of the pipeline system of local exhaust equipment for processing of polymer materials in JSC Concern “Sozvezdiye” (tap 45°, D160)	1,47	1,62	1,53	1,58	1,63	1,59
Поверхность воздуховода, обращенного к потолку (размольное отделение ОАО МК «Воронежский») Surface of the duct facing the ceiling (grinding circuit of OJSC МК “Voronezhskiy”)	0,11	0,1	0,11	0,1	0,12	0,12
Поверхность воздуховода, обращенного к потолку (оборудование по обработке полимерных материалов АО «Концерн “Созвездие”») Surface of the duct facing the ceiling (equipment for processing of polymer materials in JSC Concern “Sozvezdiye”)	0,71	0,62	0,63	0,63	0,67	0,61

при использовании данных натурных испытаний результаты сопоставлялись с данными расчета критических значений условий самовозгорания с учетом толщины слоя отложений, периода индукции, температуры среды внутри воздуховода в зависимости от диаметра воздуховода и скорости потока горючей среды. Такое сопоставление позволило сделать вывод о том, что полученные в расчетах данные являются обоснованными, им можно доверять. Построенные на основании выполненных исследований номограммы могут быть использованы для определения кратности очистки от горючих пылей оборудования и воздуховодов систем промышленной вентиляции.

Пример алгоритма решения задачи по определению условий теплового самовозгорания отложений толщиной h на поверхности технологического оборудования (электродвигателя) представлен в [19].

Ниже приведены зависимости, построенные по результатам расчетов условий самовозгорания отложений ржаной муки, которые можно использовать в качестве номограмм для прогнозирования условий самовозгорания отложений в зависимости от температуры, скорости движения потока в воздуховодах и их диаметра, а также для установления кратности очистки оборудования, вентиляционных систем и аспирационных установок (рис. 2-4).

Ниже представлен расчет периода индукции самовозгорания отложений горючей пыли на примере ржаной муки при несимметричном теплообмене с использованием методики [2]. Следует отметить, что расчет времени индукции производится в том случае, если температура окружающей среды больше критической.

В качестве примера рассмотрим расчет периода индукции для образцов отложений ржаной муки слоем 0,05 м внутри технологического оборудования при аварийном режиме работы (в результате замыкания обмоток электродвигателя произошло повышение температуры газовой среды внутри технологического оборудования аспирационной установки до 515 К).

Исходными данными для расчета являются:

- температура среды, в которой образуются отложения, $T_{\text{ср}} = 515 \text{ К}$;
- критическая температура самовозгорания для отложения заданной толщины $T_{\text{кр}} = 502,9 \text{ К}$ (методика расчета критической температуры самовозгорания для отложений ржаной муки толщиной 0,05 м представлена в [19]);
- фактор формы отложения материала j рассчитывается или принимается из [2]. В нашем случае в результате произведенных расчетов $j = 0,23$ для отложений в аспирационной уста-

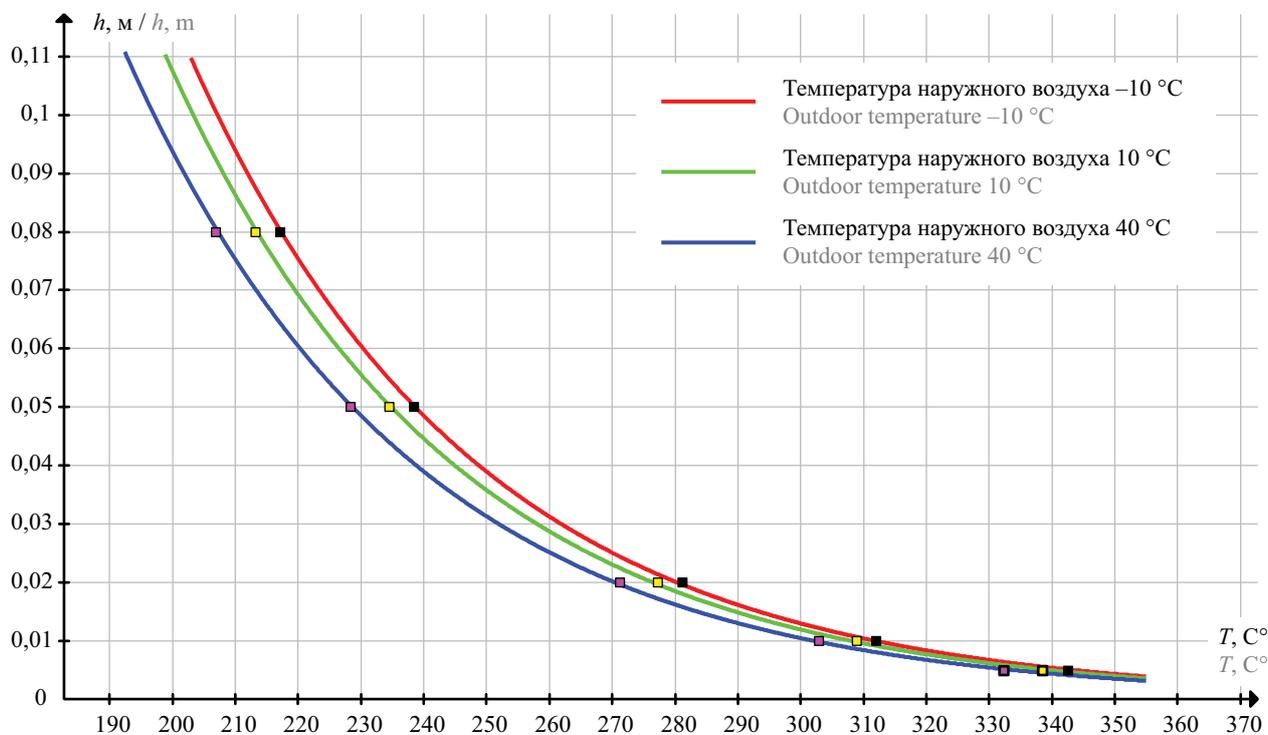


Рис. 2. Влияние критической температуры среды в воздуховоде T , °C, на толщину отложения h , м (ржаная мука, внутренний диаметр воздуховода $D = 0,16$ м, скорость движения среды в воздуховоде $V = 8$ м/с)

Fig. 2. Influence of the critical temperature of the medium in the duct T , °C to deposit thickness h , m (rye flour, internal diameter of the duct $D = 0.16$ m, the speed of the medium in the duct $V = 8$ m/sec)

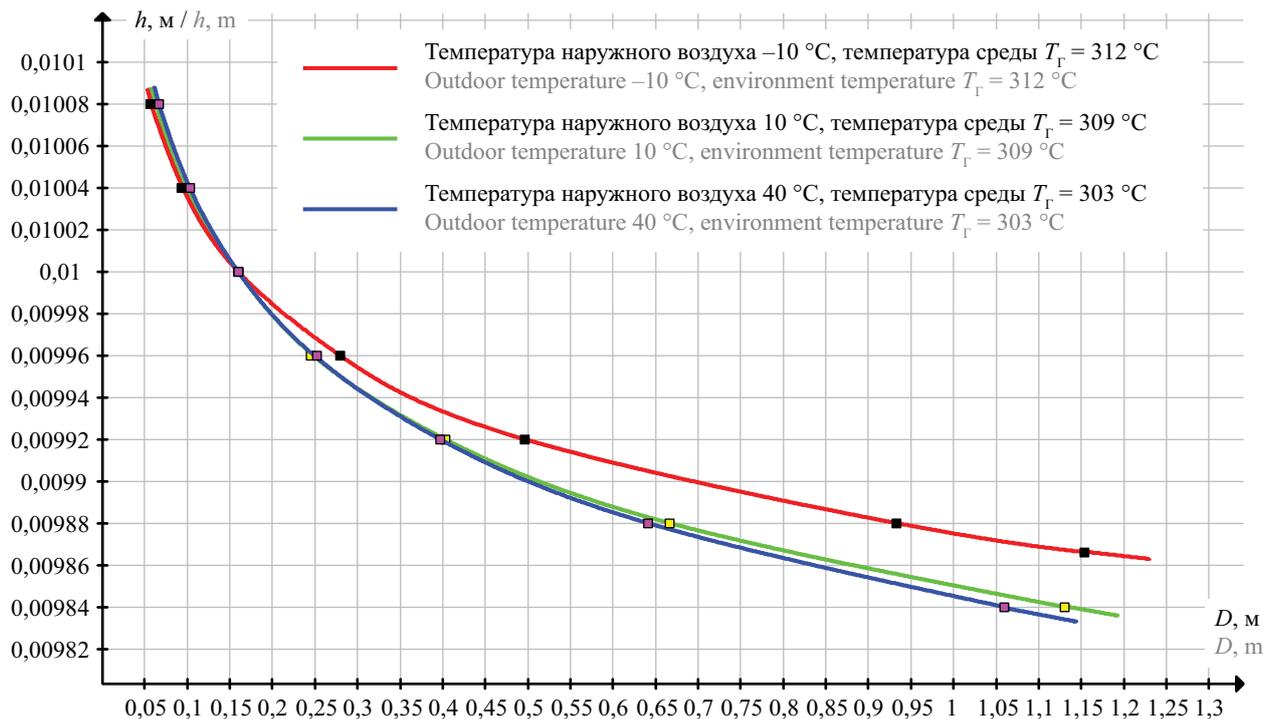


Рис. 3. Влияние диаметра сечения воздуховода D , м, на критическую толщину отложения h , м (ржаная мука, скорость движения среды в воздуховоде $V = 8\text{ м/с}$)

Fig. 3. Influence of the duct diameter D , m, on critical deposit thickness h , m (rye flour, the speed of the medium in the duct $V = 8\text{ m/sec}$)

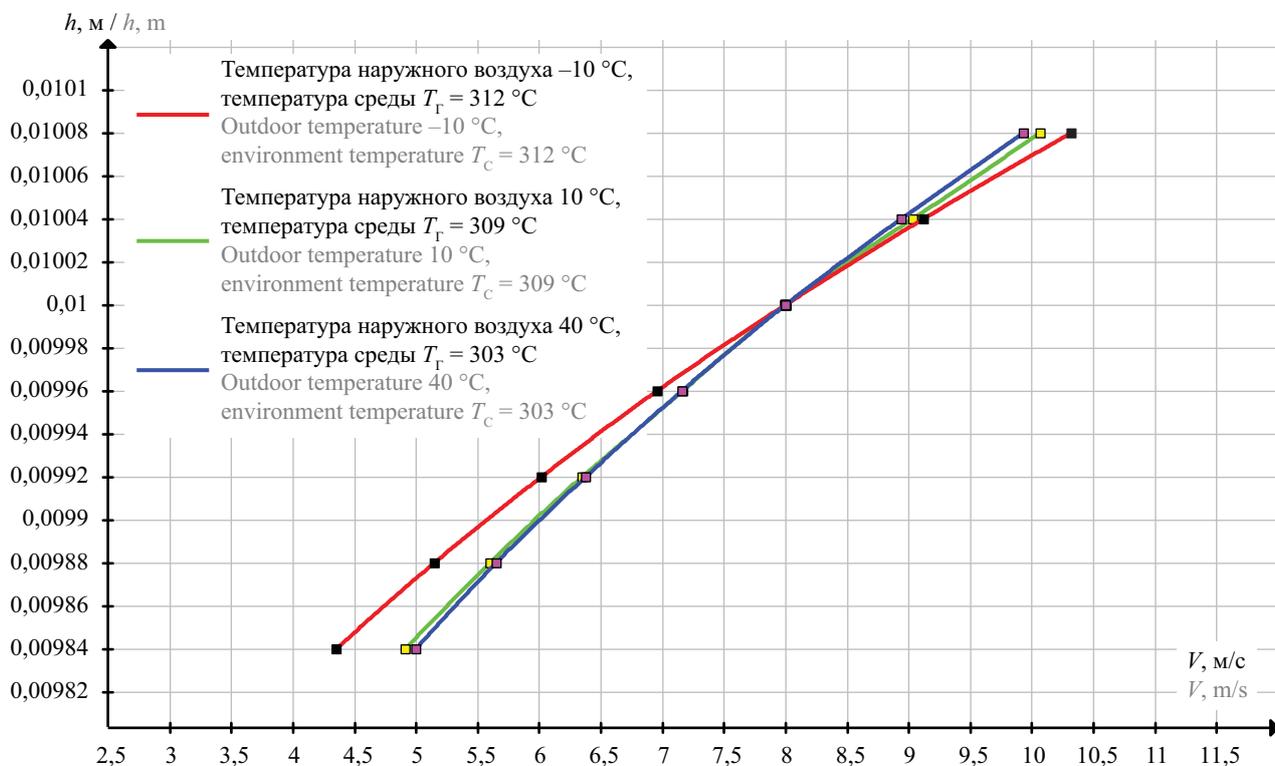


Рис. 4. Влияние скорости потока среды в воздуховоде V , м/с, на критическую толщину отложения h , м (ржаная мука, внутренний диаметр воздуховода $D = 0,16\text{ м}$)

Fig. 4. Influence of the flow rate of the medium in the duct V , m/sec, on critical deposit thickness h , m (rye flour, duct internal diameter $D = 0.16\text{ m}$)

новке в форме параллелепипеда шириной 0,8 м, длиной 1,2 м и высотой 0,05 м;

- толщина отложений — $D = 0,05$ м;
- плотность материала (плотность ржаной муки) — $\rho = 655$ кг/м³;
- коэффициент теплопроводности материала — $\lambda = 0,152$ Вт/(м·К);
- теплоемкость исследуемого материала — $c = 1050$ Дж/кг·К;
- теплота реакции — $Q = 1,67 \cdot 10^7$ Дж/кг;
- энергия активации реакции процесса термоокисления рассматриваемых отложений — $E = 88\,054$ Дж/моль;
- предэкспоненциальный множитель — $Qk_0/\lambda = 6,55 \cdot 10^{11}$ м·К/кг.

Последовательность расчета сводится к следующему:

1. По температуре T_{cp} вычисляются параметры β и γ :

$$\beta = \frac{RT_{cp}}{E} = \frac{8,314 \cdot 515}{88\,054} = 0,049;$$

$$\gamma = \frac{cRT_{cp}^2}{QE} = \frac{1050 \cdot 8,314 \cdot 515^2}{1,67 \cdot 10^7 \cdot 88\,054} = 0,0016.$$

2. С помощью уравнений определяется коэффициент теплоотдачи α :

$$\begin{aligned} Ra &= 1,2 \cdot 10^8 \cdot e^{\frac{1770}{T_{cp}}} D^3 \frac{RT_{cp}}{E} = \\ &= 1,2 \cdot 10^8 \cdot e^{\frac{1770}{540}} 0,05^3 \frac{8,314 \cdot 515}{88\,054} = 20\,676,9; \\ \alpha &= 0,54 Ra^{0,25} \frac{\lambda_b}{D} + 4\sigma T_{cp}^3 = \\ &= 0,54 \cdot 20\,676,9^{0,25} \frac{0,042}{0,05} + 4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 515^3 = \\ &= 31,52 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \end{aligned}$$

где теплопроводность воздуха рассчитана по формуле:

$$\begin{aligned} \lambda_b &= 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} T_{cp} = \\ &= 6,98 \cdot 10^{-3} + 6,41 \cdot 10^{-5} \cdot 515 = 0,04 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}. \end{aligned}$$

3. Вычисляется по формуле критерий Био, соответствующий размеру и коэффициенту теплоотдачи для рассматриваемого образца:

$$Bi = \frac{\alpha r}{\lambda_b} = \frac{31,52 \cdot 0,025}{0,04} = 19,7,$$

где r — половина расчетного диаметра, м.

4. Рассчитывается параметр Франк-Каменецкого δ , соответствующий температуре T_{cp} , и параметр $\delta_{кр}$ для критической температуры $T_{кр}$.

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{Q\rho k_0}{\lambda} \frac{E}{RT_{cp}^2} r^2 e^{-\frac{E}{RT_{cp}}} = \\ &= 6,55 \cdot 10^{11} \cdot 655 \frac{88\,054}{8,314 \cdot 515^2} \times \\ &\times 0,025^2 e^{-\frac{88\,054}{8,314 \cdot 515}} = 12,54; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{Q\rho k_0}{\lambda} \frac{E}{RT_{кр}^2} r^2 e^{-\frac{E}{RT_{кр}}} &= \\ &= 6,55 \cdot 10^{11} \cdot 655 \frac{88\,054}{8,314 \cdot 502,9^2} \times \\ &\times 0,025^2 e^{-\frac{88\,054}{8,314 \cdot 502,9}} = 8,02. \end{aligned}$$

5. Вычисляется относительное удаление от предела воспламенения:

$$\Delta = \frac{\delta}{\delta_{кр}} = \frac{12,54}{8,02} = 1,56$$

и функции

$$\begin{aligned} f_1(\Delta, \gamma) &= 1 + 0,62 \cdot \frac{1 - 4 \cdot \Delta^{-2} \sqrt{\gamma}}{(\Delta - 0,95)^{0,9}} = \\ &= 1 + 0,62 \cdot \frac{1 - 4 \cdot 1,56^{-2} \sqrt{0,0016}}{(1,56 - 0,95)^{0,9}} = 1,904; \\ f_2(j, Bi, \Delta) &= 1 - \frac{[1 + 1,5 \cdot (1 - 0,1 \cdot \Delta) \cdot j] Bi}{16 \cdot (1 + Bi)} = \\ &= 1 - \frac{[1 + 1,5 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,56) \cdot 0,23] \cdot 19,7}{16 \cdot (1 + 19,7)} = 0,923. \end{aligned}$$

6. Рассчитывается безразмерное время индукции по выражению:

$$\begin{aligned} \tau &= f_1(\Delta, \gamma) \cdot f_2(j, Bi, \Delta) (1 + 2\beta) = \\ &= 1,904 \cdot 0,923 (1 + 2 \cdot 0,049) = 1,93. \end{aligned}$$

7. Определяется размерное время индукции $t_{И}$, с, по формуле:

$$\begin{aligned} t_{И} &= \frac{\tau \cdot c \cdot RT_{cp}^2}{Qk_0 E} e^{\frac{E}{RT_{cp}}} = \\ &= \frac{1,93 \cdot 1050 \cdot 8,314 \cdot 515^2}{6,55 \cdot 10^{11} \cdot 0,152 \cdot 88\,054} e^{\frac{88\,054}{8,314 \cdot 515}} = \\ &= 435 \text{ с} = 7,25 \text{ мин}. \end{aligned}$$

Таким образом, период индукции для отложенной ржаной муки слоем 0,05 м в случае возникновения аварии и повышения температуры газовой среды $T_{кр}$ внутри технологического оборудова-

ния аспирационной установки до 515 К составит 7,25 мин.

Данную методику можно использовать для расчета периода индукции для различных (по форме, толщине, составу) отложений горючей пыли в оборудовании и в воздуховодах систем вентиляции.

Выводы

При умеренных температурах среды T_{cp} (ниже 100 °С) самовозгорание отложений горючих пылей в воздуховодах систем вентиляции и на оборудовании невозможно. Отложения толщиной около 0,05 м могут самовозгораться при температурах среды T_{cp} выше 228 °С.

Однако возгорание отложений толщиной менее 0,05 м может происходить в результате попадания

в воздуховод тлеющих частиц или неконтролируемого роста температуры среды при аварийных ситуациях.

Самовозгорание отложений горючей пыли в воздуховодах систем вентиляции и на оборудовании может происходить за короткий промежуток времени (например, в течение одной рабочей смены). При этом основным лимитирующим фактором является интенсивность роста отложений до критической толщины, что может быть инициировано нарушением штатных условий работы технологического процесса и (или) эксплуатации оборудования.

Показано, что значения диаметра поперечного сечения воздуховода и движения потока в нем горючей пылевоздушной смеси оказывают слабое влияние на условия самовозгорания отложений пыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петров А.П.* Особенности массообмена при образовании в технологическом оборудовании самовозгорающихся отложений // *Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация.* 2008. № 1. С. 67–75. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21702243>
2. *Горшков В.И.* Самовозгорание веществ и материалов. М. : ВНИИПО, 2003. 445 с.
3. *Бритиков Д.А.* Вопросы контрольно-надзорной деятельности и совершенствования нормативного регулирования в сфере промышленной безопасности взрывопожароопасных объектов по хранению и переработке растительного сырья // *Хлебопродукты.* 2016. № 8. С. 12–15. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29384237>
4. *Горшков В.И., Леончук П.А.* Влияние начальной температуры на критические условия самовозгорания материалов // *Пожарная безопасность.* 2018. № 2. С. 26–30. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35102010>
5. *Вогман Л., Хрюкин А.* Оценка пожарной опасности объектов по хранению и переработке зерна // *Комбикорма.* 2017. № 4. С. 28–34. URL: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/04_17/04_2017_28-34.pdf
6. *Таубкин И.С.* Микробиологическое самовозгорание как причина пожаров: методические рекомендации для следователей и экспертов // *Теория и практика судебной экспертизы.* 2016. № 4 (44). С. 73–85. DOI: 10.30764/1819-2785-2016-4-73-85
7. *Вогман Л.П., Хрюкин А.В.* Пожаро- и взрывоопасность систем вентиляции, аспирации и местных отсосов на предприятиях по хранению и переработке зерна. Исследование процессов образования и роста горючих отложений в системах местных отсосов // *Хлебопродукты.* 2020. № 5. С. 54–59. DOI: 10.32462/0235-2508-2020-29-5-54-59
8. *Walker I.K.* The role of water in spontaneous combustion of solids // *Fire Research Abstracts and Reviews.* 1967. Vol. 9. Issue 1. Pp. 5–22.
9. *Rothbaum H.P.* Spontaneous combustion of hay // *Journal of Applied Chemistry.* 1963. Vol. 13. Issue 7. Pp. 291–302. DOI: 10.1002/jctb.5010130704
10. *Merzhanov A.G.* On critical conditions for thermal explosion of a hot spot // *Combustion and Flame.* 1966. Vol. 10. Issue 4. Pp. 341–348. DOI: 10.1016/0010-2180(66)90041-1
11. *Thomas P.H.* A comparison of some hot spot theories // *Combustion and Flame.* 1965. Vol. 9. Issue 4. Pp. 369–372. DOI: 10.1016/0010-2180(65)90025-8
12. *Thomas P.H.* An approximate theory of “hot spot” critically // *Combustion and Flame.* 1973. Vol. 21. Issue 1. Pp. 99–109. DOI: 10.1016/0010-2180(73)90011-4
13. *Friedman M.H.* A generalized thermal explosion criterion — Exposition and illustrative applications // *Combustion and Flame.* 1967. Vol. 11. Issue 3. Pp. 239–246. DOI: 10.1016/0010-2180(67)90051-x
14. *Zaturaska M.B.* The interaction of hot spots // *Combustion and Flame.* 1974. Vol. 23. Issue 3. Pp. 313–317. DOI: 10.1016/0010-2180(74)90113-8
15. *Zaturaska M.B.* Thermal explosion of interacting hot spots // *Combustion and Flame.* 1975. Vol. 25. Pp. 25–30. DOI: 10.1016/0010-2180(75)90065-6

16. *Вогман Л.П., Сибирко В.И., Хрюкин А.В., Сенчихин В.И.* Статистические данные о пожарах вследствие самовозгорания веществ и материалов // *Хлебопродукты*. 2014. № 10. С. 64–65.
17. *Пожары и пожарная безопасность в 2014 г. : статистический сборник / под общ. ред. А.В. Матюшина. М. : ВНИИПО МЧС России, 2015. 124 с.*
18. *Вогман Л.П., Корольченко И.А., Хрюкин А.В.* Определение условий самовозгорания отложений паров горючих жидкостей в воздуховодах вентиляционных систем // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2016. Т. 25. № 8. С. 34–41. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.34-41
19. *Вогман Л.П., Корольченко И.А., Бритиков Д.А., Хрюкин А.В.* Расчет слоя отложений на оборудовании, в вентиляционных и аспирационных системах предприятий по хранению и переработке растительного сырья // *Хлебопродукты*. 2014. № 6. С. 44–46.
20. *Вогман Л.П., Хрюкин А.В., Корольченко И.А.* Условия самовозгорания отложений на оборудовании, в вентиляционных системах и аспирационных установках объектов переработки и хранения растительного сырья // *Хлебопродукты*. 2015. № 8. С. 54–55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23775649>

REFERENCES

1. Petrov A.P. Features of mass transfer in the formation of self-igniting deposits in technological equipment. *Fires and emergencies: prevention, elimination*. 2008; 1:67-75. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21702243> (rus.).
2. Gorshkov V.I. *Spontaneous ignition of substances and materials*. Moscow, VNIPO Publ., 2003; 445. (rus.).
3. Britikov D.A. Issues of control and supervisory activities and improvement of normative regulation in the field of industrial safety of explosion and fire hazardous facilities for the storage and processing of vegetable raw materials. *Khleboprodukty*. 2016; 8:12-15. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29384237> (rus.).
4. Gorshkov V.I., Leonchuk P.A. Influence of initial temperature on critical conditions of self-ignition of materials. *Fire Safety*. 2018; 2:26-30. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35102010> (rus.).
5. Vogman L., Khryukin A. Assessment of the fire hazard of facilities for storage and processing of grain. *Kombikorma*. 2017; 4:28-34. URL: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/04_17/04_2017_28-34.pdf (rus.).
6. Taubkin I.S. Microbiological self-ignition as a cause of fire: Guidelines for investigators and forensic examiners. *Theory and Practice of Forensic Science*. 2016; 4(44):73-85. DOI: 10.30764/1819-2785-2016-4-73-85 (rus.).
7. Vogman L.P., Khryukin A.V. Fire and explosion hazard of ventilation, aspiration and local suction systems at grainstorage and processing enterprises. Investigation of formation and growth of combustible scurfs in local suction systems. *Khleboprodukty*. 2020; 5:54-59. DOI: 10.32462/0235-2508-2020-29-5-54-59 (rus.).
8. Walker I.K. The role of water in spontaneous combustion of solids. *Fire Research Abstracts and Reviews*. 1967; 9(1):5-22.
9. Rothbaum H.P. Spontaneous combustion of hay. *Journal of Applied Chemistry*. 1963; 13(7):291-302. DOI: 10.1002/jctb.5010130704
10. Merzhanov A.G. On critical conditions for thermal explosion of a hot spot. *Combustion and Flame*. 1966; 10(4):341-348. DOI: 10.1016/0010-2180(66)90041-1
11. Thomas P.H. A comparison of some hot spot theories. *Combustion and Flame*. 1965; 9(4):369-372. DOI: 10.1016/0010-2180(65)90025-8
12. Thomas P.H. An approximate theory of “hot spot” critically. *Combustion and Flame*. 1973; 21(1):99-109. DOI: 10.1016/0010-2180(73)90011-4
13. Friedman M.H. A generalized thermal explosion criterion — Exposition and illustrative applications. *Combustion and Flame*. 1967; 11(3):239-246. DOI: 10.1016/0010-2180(67)90051-x
14. Zaturka M.B. The interaction of hot spots. *Combustion and Flame*. 1974; 23(3):313-317. DOI: 10.1016/0010-2180(74)90113-8
15. Zaturka M.B. Thermal explosion of interacting hot spots. *Combustion and Flame*. 1975; 25:25-30. DOI: 10.1016/0010-2180(75)90065-6
16. Vogman L.P., Sibirko V.I., Khryukin A.V., Senchikhin V.I. Statistical data on fires due to spontaneous combustion of substances and materials. *Khleboprodukty*. 2014; 10:64-65. (rus.).

17. *Fire and fire safety in 2014: statistical book* / ed. A.V. Matyushin. Moscow, VNIPO of EMERCOM of Russia Publ., 2015; 124. (rus.).
18. Vogman L.P., Korolchenko I.A., Khryukin A.V. Determination of the self-ignition conditions for sediments of combustible liquid vapours inside air pipes of ventilating systems. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(8):34-41. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.08.34-41 (rus.).
19. Vogman L.P., Korolchenko I.A., Britikov D.A., Khryukin A.V. Calculation of sediment layer on the equipment, ventilation and aspiration systems of objects of storage and processing of plant raw materials. *Khleboprodukty*. 2014; 6:44-46. (rus.).
20. Vogman L.P., Khryukin A.V., Korolchenko I.A. Conditions of self-ignition of deposits on the equipment, in ventilating systems and aspiration installations of objects of processing and storage of plant materials. *Khleboprodukty*. 2015; 8:54-55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23775649> (rus.).

Поступила 27.04.2020, после доработки 29.05.2020;

принята к публикации 18.06.2020

Received April 27, 2020; Received in revised form May 29, 2020;

Accepted June 18, 2020

Информация об авторах

ВОГМАН Леонид Петрович, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, Московская обл., г. Балашиха, Российская Федерация; РИНЦ ID: 561474; ORCID: 0000-0003-4222-3379; e-mail: vniipo-3.5.3@ya.ru

КОРОЛЬЧЕНКО Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве, директор Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 352067; Scopus Author ID: 55946060600; ResearcherID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

ХРЮКИН Алексей Владимирович, ФГКУ «Специальное управление ФПС № 37 МЧС России», г. Воронеж, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-0402-6745; e-mail: 79081404888@ya.ru

Information about the authors

Leonid P. VOGMAN, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation; ID RISC: 561474; ORCID: 0000-0003-4222-3379; e-mail: vniipo-3.5.3@ya.ru

Dmitriy A. KOROLCHENKO, Cand. Sci. (Eng.), Head of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Head of Institute of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ID RISC: 352067; Scopus Author ID: 55946060600; ResearcherID: E-1862-2017; ORCID: 0000-0002-2361-6428; e-mail: KorolchenkoDA@mgsu.ru

Aleksey V. KHRYUKIN, Federal State Public Institutions "Special Department of the Federal Fire Service No. 37 of Emercom of Russia", Voronezh, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-0402-6745; e-mail: 79081404888@ya.ru

Пожарная безопасность водородных автозаправочных станций

© Ю.Н. Шебеко ✉

Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России
(Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема загрязнения атмосферы парниковыми газами, образующимися в основном при эксплуатации автомобилей на углеводородном топливе, делает актуальной необходимость использования водорода в качестве альтернативного моторного топлива. Пути решения этой проблемы изложены в ряде работ зарубежных исследователей. Настоящая статья посвящена анализу указанных работ в части обеспечения пожаровзрывобезопасности автозаправочных станций (АЗС) на газообразном и жидком водороде (водородные АЗС).

Особенности хранения водорода. Одной из основных проблем функционирования водородных АЗС является хранение моторного топлива. Отмечены наиболее перспективные способы хранения водорода (в газообразном и жидком виде, адсорбированном виде, в составе гидридов металлов).

АЗС с хранением сжатого водорода. Рассмотрены особенности пожаровзрывобезопасности АЗС, на которых водород хранится в сжатом виде и поставляется предприятиями по его производству. При этом, как правило, применяются передвижные топливозаправщики, оснащенные резервуарами со сжатым газом.

АЗС с использованием жидкого водорода. Проанализированы аспекты обеспечения пожарной безопасности АЗС, на которые водород поставляется и хранится в жидком виде с дальнейшей регазификацией и заправкой автомобилей сжатым газом.

АЗС с получением водорода непосредственно на станции. Одним из способов снабжения водородной АЗС топливом является его получение непосредственно на станции путем дегидрогенизации метилциклогексана, который поставляется автомобильными цистернами. Полученный водород компримируется и хранится в сжатом виде в баллонах, из которых идет заправка автомобилей. Проанализированы особенности пожарной опасности таких станций.

Основные положения NFPA 2 в части водородных АЗС. Рассмотрены требования международного стандарта NFPA 2 Hydrogen Technologies Code. 2016 Edition для АЗС на сжатом и сжиженном водороде.

Выводы. На основании проведенного анализа сделан вывод, что в ряде стран активно ведутся работы по созданию водородных АЗС. Показано, что при выполнении необходимых защитных мероприятий водородные АЗС могут быть столь же безопасными, как и станции на углеводородном топливе. Сделан вывод о необходимости разработки отечественного нормативного документа, содержащего требования пожарной безопасности к водородным АЗС и использующего наработанный международный опыт.

Ключевые слова: водородная безопасность; способы хранения водорода; сжатый водород; сжиженный водород; получение водорода на АЗС

Для цитирования: Шебеко Ю.Н. Пожарная безопасность водородных автозаправочных станций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 4. С. 42–50. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.42-50

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

Fire safety of hydrogen filling stations

© Yury N. Shebeko ✉

All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia
(VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. The problem of greenhouse gas emissions from hydrocarbon-powered vehicles, polluting the air, makes consumption of hydrogen as an alternative motor fuel particularly relevant. Solutions to this problem are provided in a number of works written by foreign researchers. This article contains the analysis of these works in respect of fire and explosion safety assurance at gaseous and liquid hydrogen filling stations (hydrogen filling stations).

Features of hydrogen storage. Motor fuel storage is a main problem of hydrogen filling stations and their operation. Most advanced hydrogen storage methods (applicable to gaseous, liquid and adsorbed hydrogen, as well as metal hydrides that contain hydrogen) are analyzed in the work.

Compressed hydrogen filling stations. Fire and explosion safety features of filling stations, where compressed hydrogen is stored, are considered by the author. As a rule, mobile fuel trucks, equipped with compressed gas tanks, are used there.

Liquid hydrogen filling stations. Fire safety aspects of filling stations, where liquid hydrogen is stored, regasification is performed, and vehicles are filled with compressed gas, are also analyzed.

Hydrogen formation at filling stations. One of the ways to supply fuel to a hydrogen filling station is to produce it on site using dehydrogenation of methylcyclohexane, which is delivered in tank trucks. Hydrogen is compressed and stored in cylinders. Fire hazards arising at such stations are analyzed.

Main provisions of NFPA 2 in terms of hydrogen filling stations. The requirements of the international standard NFPA 2 Hydrogen Technologies Code. 2016 Edition, that apply to compressed and liquefied hydrogen filling stations, are considered.

Conclusions. The author has made a conclusion that hydrogen filling stations are intensively built in several countries. It has been proven that if necessary protective measures are taken, hydrogen filling stations can be as safe as those using hydrocarbon fuel. It is necessary to develop a domestic regulatory document containing fire safety requirements applicable to hydrogen filling stations with account taken of the international experience.

Keywords: hydrogen safety; hydrogen storage methods; compressed hydrogen; liquefied hydrogen; hydrogen generation at filling stations

For citation: Shebeko Yu.N. Fire safety of hydrogen filling stations. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):42-50. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.42-50 (rus.).

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

Введение

В настоящее время в развитых странах мира ведутся работы по интеграции в экономику водородной энергетики, что во многом связано с решением проблемы загрязнения атмосферы парниковыми газами, являющимися результатом применения углеводородного топлива. Научная основа водородной энергетики была заложена в работах отечественных [1–4] и зарубежных [5–8] авторов. В этих работах рассмотрены аспекты пожаровзрывобезопасности объектов с использованием газообразного (GH_2) и жидкого (LH_2) водорода.

Известно, что основным источником поступающих в атмосферу парниковых газов являются автомобили, работающие на углеводородном топливе. В связи с этим перевод автомобилей на водородное топливо помогло бы решить указанную экологическую проблему. К сожалению, в нашей стране не уделяется достаточного внимания задаче перехода транспорта на водородное топливо. Поэтому настоящая работа посвящена анализу работ зарубежных исследователей, посвященных вопросу обеспечения пожаровзрывобезопасности автозаправочных станций (АЗС), осуществляющих заправку автомобилей газообразным и жидким водородом (водородные АЗС).

Особенности хранения водорода

Одной из основных проблем функционирования водородных АЗС является осуществление хранения моторного топлива. Возможные способы хранения водорода рассмотрены в работах [7, 8].

Методы хранения водорода подразделяются на три группы:

- физические — в газообразном и жидком виде;

- в адсорбированном виде;
- путем химического связывания с образованием соединений, разлагающихся с выделением водорода.

Хранение газообразного водорода осуществляется в баллонах под давлением до 70 МПа, а также в подземных полостях, расположенных в соляных пластах.

В случае жидкого водорода существенны проблемы сжижения газа и снижения скорости его испарения при хранении. Для этого обычно используют двухболоочечный резервуар с вакуумной теплоизоляцией. Возможно применение твердого теплоизоляционного материала. При этом скорость испарения составляет около 0,1 % в сутки. Испарившийся газ может подвергаться сжижению и направляться обратно в резервуар хранения.

Водород может храниться в адсорбированном виде на поверхности твердого пористого материала. При этом необходимо создать давление 1,0...10,0 МПа. Адсорбировать можно также и жидкий водород.

Возможно хранение водорода в химически связанном виде (например, в составе гидридов металлов или других соединений). Выделение водорода из гидридов достигается одним из двух путей: нагреванием или реакцией с водой (гидролизом). Наиболее эффективны такие гидриды, как NaBH_4 , MgH_2 , AlH_3 , LiBH_4 .

Авторы [7, 8] констатируют, что наименьшая плотность хранящегося водорода реализуется в случае газообразного водорода, а наибольшая — при хранении H_2 в жидком виде. Наиболее экономичны способы хранения в сжатом, сжиженном и адсорбированном виде, так как при этом не требуется много энергии для получения газообразного H_2 , исполь-

зуемого для работы автомобильных двигателей. В случае использования гидридов металлов для получения газообразного водорода необходим нагрев до температуры 100...300 °С в зависимости от вида гидрида.

АЗС с использованием сжатого водорода

В настоящем разделе будут рассмотрены особенности обеспечения пожарной безопасности АЗС, на которых водород присутствует в сжатом виде и куда поставляется с предприятий по его производству. При этом, как правило, применяются передвижные хранилища сжатого водорода.

В работе [9] рассмотрена типичная АЗС с передвижным хранилищем H_2 в баллонах с давлением до 18 МПа, осуществляющая заправку автомобилей в городах. Станция предназначена для одновременной заправки до десяти легковых автомобилей и до двух автобусов. Размеры станции в плане 100 × 65 м. Газ из передвижного хранилища подается в компрессор, сжимающий его до давления 70 МПа, а затем в топливный бак заправляемого автомобиля. АЗС включает в себя передвижное хранилище, компрессор, распределительные трубопроводы, топливораздаточные колонки (ТРК) и пульт управления. Выполнен расчет риска для указанного объекта. Потенциальный риск вблизи ТРК превышает 10^{-3} год⁻¹, а на расстоянии 400 м от АЗС — 10^{-4} год⁻¹. Величина социального риска с числом жертв не более 100 превышает 10^{-4} год⁻¹. Авторы делают вывод о недопустимости столь высокого риска и необходимости его снижения как минимум в 10 раз за счет дополнительных защитных мероприятий (например, оснащения станции датчиками дозрывоопасных концентраций, применения систем аварийного отключения, противопожарных экранов и т.п.).

В работе [10] проведено экспериментальное исследование модельного пожара на АЗС со сжатым водородом. Изучен выброс струи H_2 в загроможденное пространство, имитирующее расположение объектов на реальной станции, с образованием и сгоранием водородовоздушной смеси в указанном пространстве. В экспериментах загромождение моделировало два резервуара хранения водорода, заправляемый автомобиль и ограждающий экран между ТРК и резервуарами хранения. Модель резервуара хранения имела размеры 0,6 × 0,9 × 2,1 м. Модель автомобиля размером 3,8 × 1,7 × 1,3 м была размещена на высоте 0,3 м от поверхности земли. Модель АЗС помещали в прозрачную пластиковую оболочку размерами 5,4 × 6,0 × 2,5 м, в которую подавали водород.

Проведено два типа экспериментов:

а) с предварительно перемешанной водородовоздушной смесью, зажигаемой искровым источником с энергией 50 МДж в различных местах (между моделями резервуаров хранения, между моделями резервуаров хранения и моделью автомобиля, под моделью автомобиля);

б) с зажиганием струи H_2 , истекающей из отверстия диаметром 8 мм под давлением 40 МПа при различных интервалах задержки зажигания.

Измеренные давления взрыва составляли: вблизи модели автомобиля — 31,7...136,6 кПа, на расстоянии 30 м — 3,2...6,3 кПа, на расстоянии 100 м — 0,3...0,8 кПа. Полученные результаты говорят о возможности реализации давлений взрыва, опасных для расположенных вблизи АЗС зданий и сооружений.

В работе [11] проведена расчетная оценка безопасных расстояний от АЗС на сжатом водороде до соседних объектов. Рассмотрен случай, когда давление в топливном резервуаре автомобиля составляло 35 и 70 МПа. Найдено, что определенные в работе безопасные расстояния сравнимы с аналогичными величинами для АЗС на жидком моторном топливе и компримированном природном газом, в то время как для станции с наличием сжиженного углеводородного газа (СУГ) безопасные расстояния существенно выше. Сделан вывод о возможности размещения ТРК с водородом на АЗС с жидким моторным топливом.

Как отмечено в работе [12], АЗС на сжатом водороде с передвижным хранилищем топлива могут быть столь же безопасными, как станции с жидким моторным топливом, и при этом иметь более низкую стоимость.

Анализ риска для водородной АЗС с передвижным блоком хранения топлива, размещенной в условиях плотной городской застройки, выполнен в работе [13]. Риск оценен как для персонала объекта, так и для людей на окружающих станцию объектах. Показано, что риск от указанной АЗС более, чем на порядок, ниже установленных критериев. Наибольший вклад в величину риска вносит нагнетательный компрессор, обеспечивающий необходимое для заправки автомобилей давление водорода. Утечки из резервуаров хранения значительно менее вероятны, но приводят к более тяжелым последствиям. Риск, связанный с перемещением передвижного блока хранения водорода по улицам города, может быть снижен до допустимого уровня путем организационно-технических мероприятий (например, перемещения блока хранения в ночное время, когда улицы города практически пусты).

В работе [14] описан передвижной блок хранения водорода с баллонами из композитных материалов.

Ранее для хранения водорода использовали стальные баллоны, рассчитанные на давление 19,6 МПа. Предложено использовать баллоны из композитных материалов с рабочим давлением 35 и 45 МПа. В статье описаны конструкции указанных передвижных блоков хранения водорода.

Возможность применения баллонов из композитных материалов, которые рассматриваются в качестве наиболее удобного способа хранения водорода под высоким давлением как в случае резервуаров АЗС, так и в случае топливных баков автомобилей, рассмотрена также в работе [15]. Эти баллоны ведут себя при нагреве совершенно иначе, чем стальные баллоны, которые быстро нагреваются и передают тепло хранящемуся газу с соответствующим ростом давления. В случае баллонов из композитных материалов рост давления при тепловом воздействии не превышает 10 % от первоначальной величины. В работе экспериментально изучено воздействие имитатора полного охвата пламенем поверхности баллона, предполагая факельное горение менее опасным.

В работе [16] проанализирована проблема определения безопасных расстояний для водородной АЗС на сжатом газе. Одним из способов определения безопасных расстояний является рассмотрение максимальной проектной аварии. При этом используются различные критерии поражения людей и окружающих объектов (например, предельно допустимая плотность теплового потока 1,6 кВт/м² при длительном воздействии на человека, 4,7 кВт/м² — при воздействии в течение 20 с, 25 кВт/м² — при длительном воздействии на соседние здания и сооружения). Альтернативным является подход, основанный на построении полей потенциального риска. В качестве примера рассмотрена водородная АЗС, предназначенная для ежедневной заправки 100 автомобилей с топливными резервуарами, рассчитанными на давление до 70 МПа. Блок хранения водорода содержал 51 баллон емкостью 250 л каждый. Найдено, что опасные расстояния составляют:

- 33 м — для смертельного поражения людей тепловым излучением;
- 25 м — для смертельного поражения при возникновении пожара-вспышки.

Взрыв водородовоздушной смеси не рассматривался, так как вклад от него в силу малой загроможденности территории станции значительно меньше, чем от других упомянутых опасных сценариев аварии.

АЗС с использованием жидкого водорода

Переходя к рассмотрению пожарной опасности АЗС с использованием жидкого водорода, следует

отметить, что в этом случае речь идет только о доставке топлива на станцию (в том числе и многотопливную). При этом не предусматривается загрузка жидкого водорода непосредственно в топливный бак автомобиля, а только регазификация жидкого водорода с дальнейшим его компримированием для подачи в топливный бак автомобиля.

В работе [17] теоретически изучено воздействие пожара пролива бензина диаметром 3 м на многотопливной АЗС на резервуар хранения жидкого водорода. Длительность горения составила 30 мин. Исследователи варьировали расстояние от границ пролива бензина до резервуара хранения жидкого водорода в диапазоне от 3,5 до 14 м. При этом температура внешней оболочки двухстенного резервуара хранения жидкого водорода, обращенной в сторону пожара пролива, находилась в диапазоне от 300 до 800 °С. Сделан вывод о том, что минимально допустимое расстояние от границ пожара пролива до резервуара хранения жидкого водорода составляет 14 м, в то время как, согласно японским нормативным документам, это расстояние равно 3,9 м, а по европейским нормативным документам — 8 м.

В работе [18] выполнены расчеты риска для АЗС с жидким водородом, оценены последствия аварий оборудования, содержащего жидкий водород. Авторы работы получили данные качественного анализа риска (матрицу риска) и предложили мероприятия по его снижению. В качестве примера рассмотрена станция с 10-ю заправляемыми автомобилями в час. Жидкий водород хранится в двухбололочном резервуаре. Технологические трубопроводы (включая заправочные рукава) являются двухстенными. Поставлена цель, чтобы АЗС с наличием жидкого водорода были столь же безопасными, как станции на жидком моторном топливе. Рассматриваемая АЗС имеет следующие параметры:

- емкость хранения жидкого водорода имеет объемом 17 м³ с рабочим давлением 0,35 МПа;
- на станции имеется две ТРК;
- скорость заправки автомобиля — 380 л/ч;
- емкость топливного бака автомобиля составляет 38 л.

Рассмотрен 131 сценарий аварии. В качестве опасных проявлений аварии учитывали взрыв газового облака и факельное горение. Найдено, что при истечении жидкого водорода из отверстия диаметром 1 мм с образованием газового облака и его сгоранием давление взрыва на границе АЗС не превышает 30 кПа. При факельном горении длина факела составляет 10 м при диаметре истечения 14 мм, 1,7 м — при диаметре истечения 1 мм. При диаметре истечения 0,2 мм факел не образуется. Предложены необходимые защитные мероприятия, среди кото-

рых основными являются применение противопожарных экранов высотой 2 м, прокладка подземных технологических трубопроводов в специальных каналах, размещение технологического оборудования на едином фундаменте для защиты от землетрясений и подвижек грунта, контроль давления в межстенном пространстве резервуара, используемого для хранения жидкого водорода.

Одна из основных опасностей, связанных с применением жидкого водорода (в том числе на АЗС), — образование факела при истечении топлива. В работе [19] экспериментально изучены параметры теплового излучения от факельного горения струи жидкого водорода. Найдено, что плотность теплового потока от факела при истечении жидкого водорода из отверстия диаметром 1 мм на расстоянии 1,8 м от оси факела составляет 9 кВт/м². В данном случае важным отличием от факела углеводородного топлива является низкая доля теплоты сгорания, переходящей в излучение (около 0,06).

АЗС с получением водорода непосредственно на станции

Одним из способов снабжения водородной АЗС топливом является его получение непосредственно на станции путем разложения метилциклогексана [20–22]. Согласно [20], технологический процесс на такой станции реализуется следующим образом. На станцию в автоцистернах доставляется метилциклогексан и сливается в подземный резервуар для хранения. Далее метилциклогексан поступает в реактор дегидрогенизации, где в результате теплового разложения продукта получают водород. При этом побочным продуктом является толуол, который сливается в подземный резервуар, откуда он увозится автоцистернами для последующего использования в химической промышленности. Выделившийся водород компримируется и подается на очистку, после которой он опять компримируется до рабочего давления 82 МПа и направляется в резервуары для хранения с дальнейшей подачей на ТРК. Резервуары для хранения сжатого водорода выгорожены противопожарными экранами. Предусматриваются следующие меры безопасности:

- защита ТРК от наезда автомобилей;
- противопожарные экраны;
- датчики дозврывоопасных концентраций;
- спринклерная система водяного орошения технологического оборудования;
- система аварийного сброса давления;
- первичные средства пожаротушения;
- автоматическая установка пожарной сигнализации.

В работе [21] проанализированы последствия аварий на АЗС рассматриваемого типа, связанных

с утечкой газообразного водорода, а также с проливом метилциклогексана и толуола. Оценены параметры ударной волны при взрыве водородовоздушных смесей, теплового излучения от факела газообразного водорода и пожаров пролива метилциклогексана и толуола, поражения токсичными парами указанных жидкостей. Найдено, что опасные факторы взрыва и токсического поражения распространяются за пределы АЗС, но их вклад в опасность объекта сравнительно невелик. В то же время воздействие факела хотя и локализовано в пределах территории станции, но представляет более высокую опасность. Аналогичные выводы сделаны в работе [22].

Основные положения NFPA 2 в части водородных АЗС

Одним из основных международных нормативных документов, регламентирующих безопасность объектов водородной энергетики, является стандарт NFPA 2 Hydrogen Technologies Code. 2016 Edition. Рассмотрим основные положения этого стандарта, посвященные автозаправочным станциям на сжатом и сжиженном водороде.

Основные требования к АЗС на сжатом водороде заключаются в следующем. Система защиты от недопустимого давления (более 1,2 от рабочего давления) не должна содержать разрывные мембраны. Технологические трубопроводы должны быть стальными, при этом допускаются только сварные соединения. Гибкие трубопроводы могут быть использованы только для заправочных рукавов, которые должны быть снабжены обратными клапанами, автоматически перекрывающими указанные рукава при их повреждении. Заправочная площадка должна быть оборудована датчиками дозврывоопасных концентраций системы газового анализа и автоматической пожарной сигнализацией. При срабатывании датчиков указанных систем в автоматическом режиме должна быть прекращена заправка автомобиля, которая может быть возобновлена только ручным способом. При потере электроснабжения аварийная запорная арматура должна срабатывать автоматически. Заправочная площадка должна быть оснащена не менее, чем двумя огнетушителями, расположенными на расстоянии не более 15 м от нее. Регламентированы минимально допустимые расстояния для разработки генеральных планов АЗС и их размещения относительно соседних зданий и сооружений. При соблюдении ряда дополнительных требований допускается расположение топливозаправочных пунктов в помещениях.

АЗС на жидком водороде должны отвечать приведенным выше требованиям для станций на сжатом газе, а также ряду дополнительных требований. Технологическое оборудование (за исключением

ТРК и заправочных рукавов) должно быть отделено от прочих зданий и сооружений противопожарными экранами. Аварийные сбросные клапаны должны осуществлять сброс продукта через сбросную трубу. Заправка автомобилей в помещениях не допускается.

Сформулированы требования к технологическому оборудованию и его обслуживанию. Технологическое оборудование должно размещаться на открытых площадках, на которых допускается использование навесов из негорючих материалов для защиты от неблагоприятных погодных условий. Заправочная площадка должна иметь бетонное покрытие, применение асфальта не допускается. Возможно использование передвижных АЗС.

Выводы

В настоящей работе проведен анализ работ зарубежных исследователей в области обеспечения пожаровзрывобезопасности автозаправочных станций, осуществляющих заправку автомобилей водородом как моторным топливом. Рассмотрены различные способы хранения водорода (в газообразном и жидком виде, адсорбированном виде, в составе гидридов металлов или иных соединений). Проанализированы особенности пожаровзрывоопасности АЗС с использованием газообразного и жидкого водорода, включая необходимые мероприятия по обеспечению их безопасности. Особо отмечены водородные АЗС, на которых водород получают непосредственно на станции путем дегидрогенизации метилциклогексана. Проанализированы основные

положения международного стандарта NFPA 2, относящиеся к автозаправочным станциям с наличием сжатого и сжиженного водорода.

На основании проведенного анализа могут быть сделаны следующие выводы. В ряде стран (Япония, Южная Корея, Китай) активно ведутся работы по созданию водородных АЗС, являющихся экологически более безопасными по сравнению со станциями на углеводородном топливе (как газообразном, так и жидком). Выполнены достаточно многочисленные научные исследования в области обеспечения пожаровзрывобезопасности водородных АЗС. Показано, что при выполнении необходимых защитных мероприятий водородные АЗС могут быть столь же безопасными, как станции на углеводородном топливе. Создан международный стандарт NFPA 2, регламентирующий требования безопасности к объектам водородной энергетики, в том числе и к водородным АЗС.

Аналогичный российский документ отсутствует. Совокупность упомянутых работ может быть положена в основу создания отечественного нормативного документа, регламентирующего требования пожаровзрывобезопасности к водородным АЗС. При этом необходимы также нормативные документы, содержащие требования пожарной безопасности как к автомобилям на водородном топливе, так и к соответствующим объектам инфраструктуры (стоянки автомобилей на водороде, предприятия по обслуживанию автомобилей на водороде, правила пожарной безопасности при их эксплуатации и т.п.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макеев В.И.* Безопасность объектов с использованием жидких криогенных продуктов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 1992. Т. 1. № 3. С. 34–45.
2. *Болодьян И.А., Кестенбойм Х.С., Махвиладзе Г.М., Макеев В.И., Федотов А.П., Чугуев А.П.* Взрывопожароопасность низкотемпературных облаков водорода в атмосфере // Горение гетерогенных и газовых систем : мат. IX Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву. Черногловка : АН СССР, Отделение Института химической физики, 1989. С. 15–17.
3. *Карпов В.Л.* Пожаробезопасность регламентных и аварийных выбросов горючих газов. Часть 1. Предельные условия устойчивого горения и тушения диффузионных факелов в неподвижной атмосфере // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 1998. Т. 7. № 3. С. 36–43.
4. *Шебеко Ю.Н., Келлер В.Д., Еременко О.Я., Смолин И.М.* Закономерности образования и горения локальных водородовоздушных смесей в большом объеме // Химическая промышленность. 1988. № 12. С. 728–731.
5. *Dadashzadeh M., Makarov D., Molkov V.* Modeling of hydrogen tank fuelling // Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards. Vol. 2. Saint Petersburg : Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2019. Pp. 1396–1407. DOI: 10.18720/SPBPU/2/k19-20
6. *Gökalp I.* A holistic approach to promote the safe development of hydrogen as an energy vector // Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards. Vol. 2. Saint Petersburg : Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2019. Pp. 1387–1395. DOI: 10.18720/SPBPU/2/k19-127

7. *Andersson J., Grönkvist S.* Large-scale storage of hydrogen // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019. Vol. 44. Issue 23. Pp. 11901–11919. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.03.063
8. *Abe J.O., Popoola A.P.I., Ajenifuja E., Popoola O.* Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019. Vol. 44. Issue 29. Pp. 15072–15086. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.04.068
9. *Gye H.-R., Seo S.-K., Bach Q.-V., Ha D., Lee C.-J.* Quantitative risk assessment of an urban hydrogen refueling station // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019. Vol. 44. Issue 2. Pp. 1288–1298. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.11.035
10. *Shirvill L.C., Roberts T.A., Royle M., Willoughby D.B., Gautier T.* Safety studies on high-pressure hydrogen vehicle refuelling stations: Releases into a simulated high-pressure dispensing area // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2012. Vol. 37. Issue 8. Pp. 6949–6964. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2012.01.030
11. *Matthijsen A.J.C.M., Kooi E.S.* Safety distances for hydrogen filling stations // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2006. Vol. 19. Issue 6. Pp. 719–723. DOI: 10.1016/j.jlp.2006.05.006
12. *Reddi K., Elgowainy A., Sutherland E.* Hydrogen refueling station compression and storage optimization with tube-trailer deliveries // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014. Vol. 39. Issue 33. Pp. 19169–19181. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.09.099
13. *Sun K., Pan X., Li Z., Ma J.* Risk analysis on mobile hydrogen refueling stations in Shanghai // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014. Vol. 39. Issue 35. Pp. 20411–20419. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.07.098
14. *Azuma M., Oimatsu K., Oyama S., Kamiya S., Igashira K., Takemura T. et al.* Safety design of compressed hydrogen trailers with composite cylinders // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014. Vol. 39. Issue 35. Pp. 20420–20425. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.05.147
15. *Blanc-Vannet P., Jallais S., Fuster B., Fouillen F., Halm D., van Eekelen T. et al.* Fire tests carried out in FCH JU Firecomp project, recommendations and application to safety of gas storage systems // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019. Vol. 44. Issue 17. Pp. 9100–9109. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.04.070
16. *LaChance J.* Risk-informed separation distances for hydrogen refueling stations // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2009. Vol. 34. Issue 14. Pp. 5838–5845. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2009.02.070
17. *Sakamoto J., Nakayama J., Nakarai T., Kasai N., Shibutani T., Miyake A.* Effect of gasoline pool fire on liquid hydrogen storage tank in hybrid hydrogen-gasoline fueling station // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016. Vol. 41. Issue 3. Pp. 2096–2104. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.11.039
18. *Kikukawa S., Mitsuhashi H., Miyake A.* Risk assessment for liquid hydrogen fueling stations // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2009. Vol. 34. Issue 2. Pp. 1135–1141. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2008.10.093
19. *Friedrich A., Breitung W., Stern G., Veser A., Kuznetsov M., Fast G. et al.* Ignition and heat radiation of cryogenic hydrogen jets // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2012. Vol. 37. Issue 22. Pp. 17589–17598. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2012.07.070
20. *Nakayama J., Kasai N., Shibutani T., Miyake A.* Security risk analysis of a hydrogen fueling station with an on-site hydrogen production system involving methylcyclohexane // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019. Vol. 44. Issue 17. Pp. 9110–9119. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.03.177
21. *Tsunemi K., Yoshida K., Yoshida M., Kato E., Kawamoto A., Kihara T. et al.* Estimation of consequence and damage caused by an organic hydride hydrogen refueling station // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42. Issue 41. Pp. 26175–26182. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.08.082
22. *Nakayama J., Sakamoto J., Kasai N., Shibutani T., Miyake A.* Preliminary hazard identification for qualitative risk assessment on a hybrid gasoline-hydrogen fueling station with an on-site hydrogen production system using organic chemical hydride // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016. Vol. 41. Issue 18. Pp. 7518–7525. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.03.143

REFERENCES

1. Makeev V.I. Safety of objects with an application of liquid cryogenic products. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 1992; 1(3):34-45. (rus.).
2. Bolodyan I.A., Kestenboym H.S., Makhviladze G.M., Makeev V.I., Fedotov A.P., Chuguev A.P. Fire and explosion hazard of low-temperature clouds of hydrogen in the atmosphere. *Combustion of Heterogeneous and Gaseous Systems : Proceedings of the IX All-Union Symposium on Combustion and Explosion*. Chernogolovka, Academy of Sciences of the USSR, Department of the Institute of Chemical Physics, 1989; 15-17. (rus.).
3. Karpov V.L. Fire safety of regulatory and emergency emissions of combustible gases. Part 1. Limiting conditions for stable combustion and extinguishing of diffusion flares in a stationary atmosphere. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 1998; 7(3):36-43. (rus.).
4. Shebeko Yu.N., Keller V.D., Eremenko O.Ya., Smolin I.M. Regularities of the formation and combustion of local hydrogen-air mixtures in large volumes. *Chemical Industry*. 1988; 12:728-731. (rus.).
5. Dadashzadeh M., Makarov D., Molkov V. Modeling of Hydrogen Tank Fuelling. *Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Vol. 2. Saint Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2019; 1396-1407. DOI: 10.18720/SPBPU/2/k19-20
6. Gökalp I. A Holistic Approach to Promote the Safe Development of Hydrogen As an Energy Vector. *Proceedings of the Ninth International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Vol. 2. Saint Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2019; 1387-1395. DOI: 10.18720/SPBPU/2/k19-127
7. Andersson J., Grönkvist S. Large-scale storage of hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019; 44(23):11901-11919. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.03.063
8. Abe J.O., Popoola A.P.I., Ajenifuja E., Popoola O.M. Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019; 44(29):15072-15086. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.04.068
9. Gye H.-R., Seo S.-K., Bach Q.-V., Ha D., Lee C.-J. Quantitative risk assessment of an urban hydrogen refueling station. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019; 44(2):1288-1298. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.11.035
10. Shirvill L.C., Roberts T.A., Royle M., Willoughby D.B., Gautier T. Safety studies on high-pressure hydrogen vehicle refuelling stations: Releases into a simulated high-pressure dispensing area. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2012; 37(8):6949-6964. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2012.01.030
11. Matthijsen A.J.C.M., Kooi E.S. Safety distances for hydrogen filling stations. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2006; 19(6):719-723. DOI: 10.1016/j.jlp.2006.05.006
12. Reddi K., Elgowainy A., Sutherland E. Hydrogen refueling station compression and storage optimization with tube-trailer deliveries. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014; 39(33):19169-19181. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.09.099
13. Sun K., Pan X., Li Z., Ma J. Risk analysis on mobile hydrogen refueling stations in Shanghai. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014; 39(35):20411-20419. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.07.098
14. Azuma M., Oimatsu K., Oyama S., Kamiya S., Igashira K., Takemura T. et al. Safety design of compressed hydrogen trailers with composite cylinders. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014; 39(35):20420-20425. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.05.147
15. Blanc-Vannet P., Jallais S., Fuster B., Fouillen F., Halm D., van Eekelen T. et al. Fire tests carried out in FCH JU Firecomp project, recommendations and application to safety of gas storage systems. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019; 44(17):9100-9109. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.04.070
16. LaChance J. Risk-informed separation distances for hydrogen refueling stations. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2009; 34(14):5838-5845. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2009.02.070
17. Sakamoto J., Nakayama J., Nakarai T., Kasai N., Shibutani T., Miyake A. Effect of gasoline pool fire on liquid hydrogen storage tank in hybrid hydrogen-gasoline fueling station. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016; 41(3):2096-2104. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.11.039
18. Kikukawa S., Mitsuhashi H., Miyake A. Risk assessment for liquid hydrogen fueling stations. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2009; 34(2):1135-1141. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2008.10.093
19. Friedrich A., Breitung W., Stern G., Vesper A., Kuznetsov M., Fast G. et al. Ignition and heat radiation of cryogenic hydrogen jets. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2012; 37(22):17589-17598. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2012.07.070

20. Nakayama J., Kasai N., Shibutani T., Miyake A. Security risk analysis of a hydrogen fueling station with an on-site hydrogen production system involving methylcyclohexane. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019; 44(17):9110-9119. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.03.177
21. Tsunemi K., Yoshida K., Yoshida M., Kato E., Kawamoto A., Kihara T. et al. Estimation of consequence and damage caused by an organic hydride hydrogen refueling station. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017; 42(41):26175-26182. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.08.082
22. Nakayama J., Sakamoto J., Kasai N., Shibutani T., Miyake A. Preliminary hazard identification for qualitative risk assessment on a hybrid gasoline-hydrogen fueling station with an on-site hydrogen production system using organic chemical hydride. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016; 41(18):7518-7525. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.03.143

Поступила 03.06.2020, после доработки 09.07.2020;
принята к публикации 15.07.2020

Received June 3, 2020; Received in revised form July 9, 2020;

Accepted July 15, 2020

Информация об авторе

ШЕБЕКО Юрий Николаевич, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха, Московская обл., Российская Федерация; РИНЦ ID: 47042; Scopus Author ID: 7006511704; ORCID: 0000-0003-1916-2547; e-mail: yn_shebeko@mail.ru

Information about the author

Yury N. SHEBEKO, Doctor Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation; ID RISC: 47042; Scopus Author ID: 7006511704; ORCID: 0000-0003-1916-2547; e-mail: yn_shebeko@mail.ru

Оценка функционирования сигнальных кабелей каналов безопасности атомных станций в условиях пожара

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

Академия государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

АННОТАЦИЯ

Введение. Особенностью сигнальных кабелей систем безопасности на атомных электростанциях (АЭС) является сохранение способности проводить модулированный сигнал в течение времени, необходимого для приведения реакторной установки в безопасное состояние. Однако возможность сигнальных кабелей передавать корректно сигнал в условиях повышенной температуры газовой среды, характерной для начальной стадии пожара в помещении, до настоящего времени не исследовалась.

Цели и задачи. Целью статьи является теоретическая оценка возможности кабелей системы безопасности АЭС передавать корректно модулированный электрический сигнал при одновременном воздействии пожара и токовой нагрузки. Для ее достижения решалась задача теоретического исследования температуры токопроводящей жилы сигнального кабеля на начальной стадии пожара.

Теоретические основы. Для определения температуры жилы кабеля используется стационарное уравнение теплопередачи от жилы кабеля в окружающую среду через цилиндрический слой изоляции.

Результаты и их обсуждение. Получены зависимости температуры токопроводящей жилы одножильного и однопроволочного кабеля КПЭПнг(А)-HF от температуры газовой среды в помещении.

Представлены соотношения между температурой газовой среды в помещении пожара и силой тока (кабель расположен вертикально) в электрическом кабеле с учетом зависимости удельного сопротивления провода от температуры при предельно допустимой рабочей температуре жил кабеля 70 °С, предельно допустимой рабочей температуре нагрева жил кабеля в режиме перегрузки 80 °С и максимальной температуре нагрева жил кабеля при коротком замыкании, равной 160 °С.

Для различных режимов работы в условиях температур, характерных для начальной стадии пожара в помещении, получены максимальные величины силы тока, позволяющие корректно проводить модулированный сигнал в течение времени, необходимого для приведения реакторной установки в безопасное состояние.

Выводы. Разработанная математическая модель и результаты численных экспериментов позволяют оценить влияние температуры в помещении атомной станции при пожаре на способность сигнального кабеля системы безопасности АЭС передавать неискаженный модулированный сигнал в зависимости от значения токовых нагрузок и вида его расположения (вертикально или горизонтально), а также расширить приведенную в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ) зону зависимости температуры в помещении от токовой нагрузки.

Ключевые слова: системы безопасности; ток нагрузки; пожарные зоны; огнестойкость; коэффициент теплопередачи; безопасный останок; расхолаживание реакторной установки

Для цитирования: Лебедченко О.С., Зыков В.И., Пузач С.В. Оценка функционирования сигнальных кабелей каналов безопасности атомных станций в условиях пожара // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 4. С. 51–58. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.51-58

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

Assessment of operation of safety channel signal cables at nuclear power plants under fire conditions

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

Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (Borisa Galushkina st., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Signal cables of safety systems, installed at nuclear power plants (NPPs), retain the ability to conduct modulated signals during the time period needed to switch the reactor facility to a safe mode. However, the ability of signal cables to transmit signals correctly in the high temperature gas medium, which is typical for the early stage of a room fire, has not been exposed to research.

Aims and objectives. The co-authors offer a theoretical assessment of the ability of NPP safety system cables to correctly transmit modulated electric signals if exposed to fire and current loads. The theoretical research into the temperature of the conductor of a signal cable at the initial stage of fire has been performed towards this end.

Theoretical background. The steady state heat conduction equation, describing heat transmission from the cable core to the environment through the cylinder-shaped insulation layer, is used to measure the temperature of the cable strand.

Results and discussion. Temperature dependences describing the relation between the temperature of the conductor of a single - strand and single-wire cable KNEPng(A)-HF on the gas medium temperature are obtained. Relations between the temperature of the gas medium in the room on fire and the current intensity in the electric cable (if the cable is laid vertically) are presented with account taken of the dependence between the specific resistance of the wire and the temperature if the maximal permissible operating temperature of cable strands is 70 °C, the maximal permissible operating temperature of cable strands in the overload operation mode is 80 °C, and the maximal cable strand heating temperature is equal to 160 °C when the short-circuit failure occurs.

Maximal current intensity values are obtained for various operating modes in the condition of temperatures typical for the initial stage of an indoor fire, they allow to correctly conduct modulated signals within the time period needed to switch the reactor facility to a safe mode.

Conclusions. The developed mathematical model and results of numerical experiments allow to assess the influence of the temperature in the room of a nuclear power plant in case of fire on the ability of a signal cable of the safety system to transfer undistorted modulated signals depending on current loads and signal cable laying patterns (whether it is laid vertically or horizontally), and also to expand the range of the room temperature dependence on the current load provided in Electrical Installations Code (EIC).

Keywords: safety systems; load current; fire protection areas; fire resistance; heat transfer coefficient; safe shut-down; reactor facility cooling

For citation: Lebedchenko O.S., Zikov V.I., Puzach S.V. Assessment of operation of safety channel signal cables at nuclear power plants under fire conditions. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):51-58. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.51-58 (rus.).

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

Введение

Для надежного перевода реакторной установки атомной электростанции в безопасное состояние при возникновении аварии или пожара используют специально созданные каналы систем безопасности (СБ). В отличие от канала нормальной эксплуатации каналы СБ включают в себя только те приборы и оборудование, которые необходимы для горячего или холодного останова ядерного реактора. Количество каналов СБ может быть различным: Нововоронежская АЭС имеет два канала СБ, Ленинградская АЭС-2 — четыре.

Прокладывают каналы СБ в разных пожарных зонах для обеспечения их сохранности во время аварий и пожаров. Однако в ряде помещений, таких как блочный пульт управления, резервный пульт управления, гермозона и межбололочное пространство реакторного здания, сходятся все каналы СБ согласно особенностям технологического процесса. Таким образом, в случае пожара в одном из вышеперечисленных помещений под действием повышенной температуры находятся все кабельные каналы СБ.

Воздействию пожара на кабели посвящено большое количество научных работ [1–19]. Ряд исследований [2, 3] направлен на сохранение целостности кабельных коробов, условия самовоспламенения изоляции электрического кабеля, определение огнестойкости кабельных проходок. Токовые нагрузки проводов и кабелей рассчитывали исходя из температуры на поверхности жилы [4]. Ограничением для тока, протекающего по жиле, служила температура, при которой материал изоляции начинает разрушаться. Например, для кабелей с пластмассо-

вой изоляцией за расчетную температуру принимают 60 °C для нормальных температурных условий (25 °C), а при высоких температурах изоляция подвергается двустороннему воздействию: со стороны окружающей среды и изнутри, из-за внутреннего нагрева жилы кабеля за счет протекающего тока (токовой нагрузки). В свою очередь, сопротивление жилы при высоких температурах тоже повышается, следовательно, еще больше повышается ее нагрев за счет протекающего по ней тока.

Особенностью сигнальных кабелей СБ на АЭС является сохранение способности проводить модулированный сигнал в течение времени, необходимого для приведения реакторной установки в безопасное состояние. Однако возможность сигнальных кабелей передавать корректно сигнал в условиях повышенной температуры газовой среды в помещении до настоящего времени не исследовалась.

Существенное влияние на корректность передаваемого сигнала оказывает изменение сопротивления жилы в зависимости от температуры в соответствии с температурным коэффициентом сопротивления материала жилы. Затухание модулированного сигнала, вызванного изменением сопротивления с повышением температуры, зависит от коэффициента затухания, равного примерно половине температурного коэффициента сопротивления. Для меди эти коэффициенты составляют соответственно 0,004 и 0,002 из расчета на 1 °C. При этом цифровые системы передачи исключительно чувствительны к изменениям затухания. В таком случае коэффициент ошибок может увеличиться

на два порядка, что приемлемо при передаче речи, но может вызвать весьма существенные искажения в случае передачи цифровых данных.

Одной из целей создания системы обеспечения пожарной безопасности атомной станции является обеспечение безопасного останова и расхолаживания реакторной установки при пожаре. Раздел 9 проектной документации Ленинградской АЭС «Перечень мероприятий по обеспечению пожарной безопасности»¹ содержит следующую формулировку: «Противопожарная защита должна гарантировать функционирование систем безопасности. В случае пожара допускается выход из строя не более одного канала систем безопасности (п. 9.1.3.5). В тех пожарных зонах, где имеет место расположение элементов разных каналов систем безопасности, ликвидация пожара должна быть обеспечена на начальной стадии его развития в пределах одного канала безопасности (п. 9.1.3.7)». Это означает, что в помещении пожара (в резервном и блочном пунктах управления (РПУ и БПУ), гермозоне) электрические кабели остальных каналов СБ должны сохранять способность корректно передавать сигнал.

Чрезмерно высокая температура проводов и кабелей приводит к преждевременному высыханию изоляции, а в случае проводов без изоляции — к ускоренному окислению соединительных контактов и, как следствие, ухудшению проводимости [5]. Кроме того, следствием перегрева проводов и кабелей сверх допустимых величин могут становиться пожары. Поэтому в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ)² указывается следующее предельно длительно допустимое значение температуры проводов и кабелей. Так, например, для проводов без изоляции предельно длительно допустимое значение — 70 °С.

Целью данной работы является теоретическая оценка возможности кабелей системы безопасности АЭС передавать корректно модулированный электрический сигнал при одновременном воздействии пожара и токовой нагрузки. Для ее достижения решалась задача теоретического исследования температуры токопроводящей жилы сигнального кабеля на начальной стадии пожара.

Теоретические основы

Температура провода достигнет своего установившегося значения не мгновенно, а по истечении

¹ Ленинградская АЭС-2. Энергоблоки № 1 и 2 : проектная документация (корректировка). Т. 1. Пояснительная записка. Кн. 1. Раздел 9. Перечень мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. СПб : Филиал ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ»» «СПбАЭП», 2014.

² ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7. Утверждены Министерством энергетики Российской Федерации, приказ от 8 июля 2002 г. № 204. Введены в действие с 1 января 2003 г.

некоего промежутка времени после его подключения к питающей сети. Закон изменения величины нагрева провода можно выразить следующей формулой [6]:

$$\tau = \tau_s \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_h}\right) \right], \quad (1)$$

где τ — величина нагрева провода, °С;

τ_s — установившийся перегрев для определенной токовой нагрузки, °С;

t — время нагрева, с;

T_h — постоянная времени нагрева провода, с.

Следует отметить, что величина T_h — это время, за которое провод смог бы достичь установившегося перегрева, если бы не было отвода тепла в окружающую среду. Соответственно, после отключения провода от питающей сети начинается процесс его охлаждения до температуры окружающей среды. Этот процесс можно описать уравнением [6]:

$$\tau = \tau_s \exp\left(-\frac{t}{T_0}\right), \quad (2)$$

где T_0 — постоянная времени охлаждения провода, с.

На рис. 1 приведены графики нагрева и охлаждения провода.

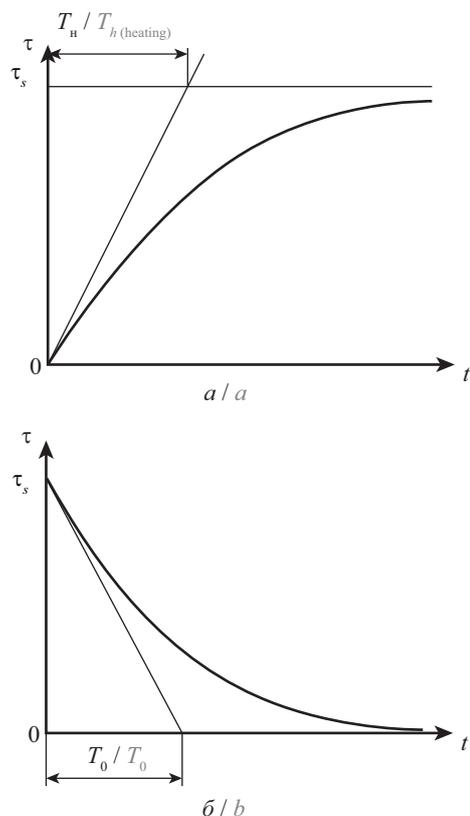


Рис. 1. Характерные графики нагрева (а) и охлаждения (б) электрического провода

Fig. 1. Typical graphs of heating (a) and cooling (b) of an electric wire

Приведенные формулы (1) и (2) позволяют установить, через какое время перегрев провода достигнет заданного значения. Величины постоянных времени нагрева напрямую зависят от рода проводки, материала провода, его изоляции и сечения. Постоянные времена нагрева определяются экспериментальным путем.

Расчет температуры токопроводящей жилы проводился путем решения сопряженной стационарной задачи о теплоотдаче горизонтальных и вертикальных цилиндров (трубы, проволоки) при свободном движении в неограниченном пространстве и повышенной температуре окружающей среды.

Температура токопроводящей жилы при стационарном режиме охлаждения равна [20]:

$$T_c = T_r + \frac{q}{k}, \quad (3)$$

где T_c — температура токопроводящей жилы, К;

T_r — температура газовой среды помещения, К;

q — линейный тепловой поток от наружной поверхности изоляции к газовой среде помещения, Вт/м;

$$k = \frac{T_c - T_r}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 \alpha}}$$
 — линейный коэффициент

теплопередачи от токопроводящей жилы к газовой среде помещения, Вт/(м · К);

r_1 — наружный диаметр токопроводящей жилы (внутренний диаметр изоляции), м;

r_2 — наружный диаметр изоляции, м;

α — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к газовой среде помещения, Вт/(м² · К).

Линейный тепловой поток при стационарном режиме охлаждения равен:

$$q = \frac{I^2 R}{l}, \quad (4)$$

где I — сила тока, А;

$R = \rho_o \frac{l}{s}$ — электрическое сопротивление токопроводящей жилы, Ом;

ρ_o — удельное электрическое сопротивление материала токопроводящей жилы, Ом · мм²/м;

l — длина токопроводящей жилы, м;

s — площадь поперечного сечения токопроводящей жилы, мм².

Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к газовой среде помещения определяется для горизонтального расположения провода (при $10^3 < (Gr \cdot Pr)_m < 10^9$) и вертикального расположения провода (при $(Gr \cdot Pr)_m > 10^{10}$) [20]:

$$Nu_r = 0,5 (Gr \cdot Pr)_r^{0,25} \left(\frac{Pr_r}{Pr_w} \right)^{0,25}, \quad (5)$$

$$Nu_r = 0,15 (Gr \cdot Pr)_r^{1/3} \left(\frac{Pr_r}{Pr_w} \right)^{0,25}, \quad (6)$$

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

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

β — коэффициент объемного расширения, 1/К;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

T_w — температура наружной поверхности изоляции токопроводящей жилы, К;

ν — коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

L — характерный размер, м, $L = d$ при горизонтальном расположении провода, $L = l$ при вертикальном расположении провода; индекс «r» означает, что теплофизические свойства берутся при температуре T_r , индекс «w» — при T_w ;

T_w — температура наружной поверхности изоляции токопроводящей жилы, К;

λ — коэффициент теплопроводности газовой среды помещения, Вт/(м · К).

Результаты и их обсуждение

При одновременном воздействии тепловой и токовой нагрузки на сигнальный кабель возможно искажение модулированного сигнала, что воспринимается как воздействие помехи на электрический сигнал. Подобное воздействие может привести к ложным срабатываниям СБ АЭС с последующими негативными последствиями.

Для определения температур газовой среды помещения при пожаре, при которых кабели не нагреваются выше рабочих температур, при достижении проводом заданного установившегося перегрева (постоянной температуры) был выбран одножильный и однопроволочный кабель конструкции КПЭПнг(А)-НГ. Этот кабель предназначен для передачи электрических сигналов и распределения электрической энергии в цепях управления, сигнализации, связи, межприборных соединений при напряжении 250, 380 и 1000 В переменного тока, частотой до 200 кГц или при напряжении соответственно 350, 750 и 1500 В постоянного тока.

В результате расчетов с использованием уравнений (3)–(6) без учета зависимости удельного электрического сопротивления провода от температуры получена зависимость температуры токопроводящей жилы от температуры газовой среды в помещении (рис. 2).

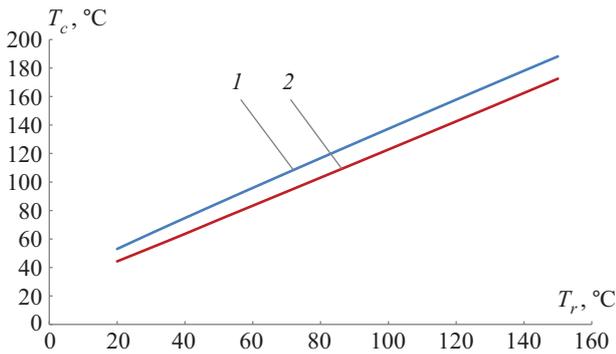


Рис. 2. Зависимость температуры токопроводящей жилы от температуры газовой среды в помещении при диаметре жилы провода $r_1 = 4,1$ мм и силе тока $I = 75,4$ А: 1 — кабель расположен вертикально; 2 — кабель расположен горизонтально

Fig. 2. Dependence of the temperature of the conductor on the temperature of the gas medium in the room with a wire strand diameter $r_1 = 4.1$ mm and current intensity $I = 75.4$ A: 1 — cable is placed vertically; 2 — cable is placed horizontally

Из рис. 2 видно, что рабочая температура жилы кабеля, расположенного вертикально, при допустимом токе нагрузки может быть превышена уже при температуре 35 °С в помещении, а в случае горизонтального расположения кабеля — при температуре 45 °С в помещении.

Получены расчетные зависимости допустимой токовой нагрузки кабеля от среднеобъемной температуры в помещении для значимых температур жил кабеля, имеющего наиболее опасное — вертикальное расположение.

На рис. 3 представлены соотношения между температурой газовой среды в помещении пожара и предельной силой тока I_l (кабель расположен вертикально) в электрическом кабеле при предельно допустимой рабочей температуре жил кабеля $T_l = 70$ °С, предельно допустимой рабочей температуре нагрева жил кабеля в режиме перегрузки $T_l = 80$ °С и максимальной температуре нагрева жил кабеля при коротком замыкании, равной $T_l = 160$ °С. При этом в расчетах учитывалась зависимость удельного сопротивления провода от температуры по формуле:

$$\rho_o = \rho_o^* \cdot (1 + 0,0043 \cdot (T_c - 20)), \quad (7)$$

где ρ_o — удельное электрическое сопротивление материала токопроводящей жилы при температуре токопроводящей жилы T_c , °С;
 $\rho_o^* = 0,0175$ Ом · мм²/м — удельное электрическое сопротивление медной токопроводящей жилы при 20 °С.

На рис. 3 показано, что, например, на начальной стадии пожара в помещении условиями работоспособности сигнального кабеля являются:

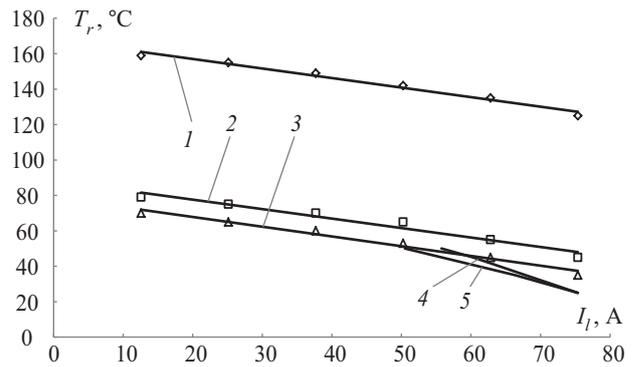


Рис. 3. Зависимость температуры газовой среды в помещении пожара от силы тока (кабель расположен вертикально): при температуре жилы кабеля $T_c = 160$ °С: \diamond — расчет; 1 — аппроксимирующее уравнение $T_r = -0,5391I + 167,87$ со степенью достоверности $R^2 = 0,9823$; при $T_c = 80$ °С: \square — расчет; 2 — $T_r = -0,5346I + 88,333$ с $R^2 = 0,9611$; при $T_c = 70$ °С: Δ — расчет; 3 — $T_r = -0,5505I + 78,867$ с $R^2 = 0,9804$; 4 — при $T_c = 80$ °С (ПУЭ 7); 5 — при $T_c = 70$ °С (ПУЭ 7)

Fig. 3. Dependence of the temperature of the gas medium in the fire room on current intensity (the cable is placed vertically): when the temperature of the cable strand $T_c = 160$ °С: \diamond — analysis; 1 — approximating equation $T_r = -0,5391I + 167,87$ with a confidence level of $R^2 = 0,9823$; at $T_c = 80$ °С: \square — analysis; 2 — $T_r = -0,5346I + 88,333$ of $R^2 = 0,9611$; when $T_c = 70$ °С: Δ — analysis; 3 — $T_r = -0,5505I + 78,867$ of $R^2 = 0,9804$; 4 — when $T_c = 80$ °С [PUE 2003, edition 7]; 5 — when $T_c = 70$ °С [EIC 2003, edition 7]

- при температуре газовой среды помещения $T_r = 72$ °С в рабочем режиме работы кабеля ($T_l = 70$ °С) сила тока не должна превышать $I_l = 12$ А;
- при $T_r = 82$ °С в режиме перегрузки ($T_l = 80$ °С) сила тока не должна превышать $I_l = 12$ А;
- при $T_r = 162$ °С в режиме короткого замыкания ($T_l = 160$ °С) сила тока не должна превышать $I_l = 12$ А.

Выводы

Разработанная математическая модель и результаты численных экспериментов позволяют оценить влияние температуры в помещении атомной станции при пожаре на способность сигнального кабеля системы безопасности АЭС передавать неискаженный модулированный сигнал в зависимости от значения токовых нагрузок в кабеле и вида его расположения (вертикально или горизонтально).

Проведенные теоретические исследования зависимости силы тока в электрическом кабеле от температуры газовой среды в помещении пожара при предельно допустимых температурах жил кабеля позволяют расширить приведенную в ПУЭ зону зависимости температуры в помещении от токовой нагрузки в сигнальных кабелях каналов систем безопасности АЭС при пожаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мещанов Г.И., Холодный С.Д. Анализ особенностей горения полимерной изоляции кабелей при их групповой прокладке // Кабели и провода. 2010. № 6 (325). С. 10–14.
2. Хасанов И.Р., Варламкин А.А. Экспериментальные методы определения огнестойкости кабельных проходок при пожаре с учетом влияния токов нагрузки // XVII Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций»: сб. мат. Москва, 30–31 октября 2018 г. М.: ФКУ Центр «Антистихия» МЧС России, 2018. С. 77–78.
3. Пузач С.В., Лебедченко О.С. Математическое моделирование динамики опасных факторов пожара при пассивной противопожарной защите в основных зданиях атомных электростанций с водо-водяными реакторами: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. 303 с.
4. Титков В.В., Дудкин С.М. Кабельные линии 6–10 кВ и выше. Влияние способов прокладки на температурный режим // Новости ЭлектроТехники. 2012. № 3 (75). С. 2–4. URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2012/75/10.php>
5. Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: мат. Всеросс. науч.-метод. конф. Оренбург: ОГУ, 2018. URL: <https://conference.osu.ru/archive/publications.html?detailed=14>
6. Зыков В.И., Анисимов Ю.Н., Малащенко Г.Н. Противопожарная защита электрических сетей от токов утечки // Снижение риска гибели людей при пожарах: мат. XVIII науч.-практ. конф.. Ч. 1. М.: ВНИИПО, 2003. С. 182–185.
7. Finger H. Advances in fire hazard testing of electrical equipment // IEEE Electrical Insulation Magazine. 1986. Vol. 2. Issue 4. Pp. 24–29. DOI: 10.1109/MEI.1986.290418
8. Гусев С.С. Безопасное управление атомными электростанциями // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2017. № 12. С. 42–45.
9. Benchmark analysis for condition monitoring test techniques of aged low voltage cables in nuclear power plants. Final results of a coordinated research project. IAEA-TECDOC-1825. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2017.
10. Cable ageing in nuclear power plants. report on the first and second terms (2012–2017) of the NEA Cable Ageing Data and Knowledge (CADAK) project. NEA/CSNI/R(2018)8. Nuclear Energy Agency, 2018. 58 p. URL: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/CSNI/R\(2018\)8&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/CSNI/R(2018)8&docLanguage=En)
11. Csanyi E. Internal electrical systems within nuclear power plant stations (power sources) // Electrical Engineering Portal. 2019. URL: <https://electrical-engineering-portal.com/electrical-systems-nuclear-power-plant-stations>
12. Пузач С.В., Лебедченко О.С., Сизухин С.В. Обоснование технологии пассивной противопожарной защиты основных зданий АЭС с водо-водяными реакторами на основе расчета огнестойкости ограждающих конструкций // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 1. С. 22–29. DOI: 10.25257/FE.2020.1.22-29
13. Лебедченко О.С. Особенности обоснования технологии пассивной противопожарной защиты основных зданий атомных электростанций с водно-водяными реакторами // Системы безопасности — 2019: мат. 28-й междунар. науч.-техн. конф. М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. С. 291–296.
14. Лебедченко О.С. Оценка обеспечения корректной работы кабелей каналов безопасности атомных станций в условиях пожара // Ройтмановские чтения: сб. мат. VIII науч.-практ. конф. Москва, 05 марта 2020 г. / под ред. Б.Б. Серкова. М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. С. 72–75.
15. Cable research in light water reactor related to mechanisms of cable degradation: understanding of role of material type, history, and environment, as well as accelerated testing limitations. US DOE/NRC/EPRI, 2013.
16. Assessing and managing cable ageing in nuclear power plants. NP-T-3.6. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2012. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1554_web.pdf
17. Celina M.C., Gillen K.T., Lindgren E.R. Nuclear power plant cable materials: review of qualification and currently available aging data for margin assessments in cable performance. SAND2013-2388. Sandia National Laboratories, 2013. DOI: 10.2172/1096518

18. Brown J.R., Bernstein R., White G.V., Glover S.F., Neely J.C., Pena G. et al. Submerged medium voltage cable systems at nuclear power plants: a review of research efforts relevant to ageing mechanisms and condition monitoring. SAND2015-1794. Sandia National Laboratories, 2015. DOI: 10.2172/1177756
19. Ageing management of cable in nuclear generating stations. 13395-REP-00001 Rev. 0. Canadian Nuclear Safety Commission, 2012. 131 p. URL: <https://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/pdfs/about/researchsupport/reportabstracts/RSP-0284-Final-report.pdf>
20. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М. : Атомиздат, 1979. 416 с.

REFERENCES

1. Meshchanov G.I., Kholodnyy S.D. Analysis of the combustion characteristics of polymer insulation of cables during their group laying. *Cables and wires*. 2010; 6(325):10-14. (rus.).
2. Khasanov I.R., Varlamkin A.A. Experimental methods for determining the fire resistance of cable penetrations in case of fire, taking into account the influence of load currents. *Collection of materials: XVII All-Russian scientific-practical conference "Problems of predicting emergency situations"*. Moscow, October 30–31, 2018 Moscow, FKU Center "Antistikha" Emercom of Russia, 2018; 77-78. (rus.).
3. Puzach S.V., Lebedchenko O.S. *Mathematical modeling of the dynamics of hazardous fire factors during passive fire protection in the main buildings of nuclear power plants with water-cooled reactors: monograph*. Moscow, Academy of the State Fire Service Emercom of Russia, 2019; 304. (rus.).
4. Titkov V.V., Dudkin S.M. Cable lines 6-10 kV and over. Influence of laying methods on temperature conditions. *The News of Electrical Engineering*. 2012; 3(75):2-4. URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2012/75/10.php> (rus.).
5. *University complex as a regional center of education, science and culture: Materials of the All-Russian scientific and methodological conference*. Orenburg, OSU Publ., 2018. URL: <https://conference.osu.ru/archive/publications.html?detailed=14> (rus.).
6. Zykov V.I., Anisimov Yu.N., Malashenkov G.N. Fire protection of electrical networks from leakage currents. *Reducing the risk of death in fires: Materials of the XVIII scientific and practical conference. Part 1*. Moscow, VNIPO Publ., 2003; 182-185. (rus.).
7. Finger H. Advances in fire hazard testing of electrical equipment. *IEEE Electrical Insulation Magazine*. 1986; 2(4):24-29. DOI: 10.1109/MEI.1986.290418
8. Gusev S.S. Safe management of nuclear power plants. *Electrical equipment: exploitation and repair*. 2017; 12:42-45. (rus.).
9. *Benchmark Analysis for Condition Monitoring Test Techniques of Aged Low Voltage Cables in Nuclear Power Plants. Final Results of a Coordinated Research Project. IAEA-TECDOC-1825*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2017.
10. *Cable Ageing in Nuclear Power Plants. Report on the first and second terms (2012-2017) of the NEA Cable Ageing Data and Knowledge (CADAK) Project. NEA/CSNI/R(2018)8*. Nuclear Energy Agency, 2018; 58. URL: [https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/CSNI/R\(2018\)8&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/CSNI/R(2018)8&docLanguage=En)
11. Csanyi E. Internal electrical systems within nuclear power plant stations (power sources). *Electrical Engineering Portal*. 2019. URL: <https://electrical-engineering-portal.com/electrical-systems-nuclear-power-plant-stations>
12. Puzach S.V., Lebedchenko O.S., Sizukhin S.V. Substantiating passive fire protection technology for the main buildings of nuclear power plants with water-cooled reactors based on calculating fire resistance of enclosing structures. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2020; 1:22-29. (rus.).
13. Lebedchenko O.S. Substantiation of features of technology of passive fire protection of the main buildings of nuclear power plants with water reactors. *Proceedings of 28th International Scientific-Technical Conference "Safety Systems – 2019"*. Moscow, Academy of the State Fire Service Emercom of Russia, 2019; 291-296. (rus.).
14. Lebedchenko O.S. Assessment of ensuring the correct operation of safety channel cables of nuclear power plants in a fire. *Collection of materials of the VIII Scientific and practical conference "Roitman readings"*. Moscow, 05 March 2020. Moscow, Academy of the State Fire Service Emercom of Russia, 2020; 72-75. (rus.).
15. *Cable Research in Light Water Reactor Related to Mechanisms of Cable Degradation: Understanding of role of material type, history, and environment, as well as accelerated testing limitations*. US DOE/NRC/EPRI, 2013.

16. *Assessing and Managing Cable Ageing In Nuclear Power Plants. NP-T-3.6.* Vienna, International Atomic Energy Agency, 2012. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1554_web.pdf
17. Celina M.C., Gillen K.T., Lindgren E.R. *Nuclear Power Plant Cable Materials: Review of Qualification and Currently Available Aging Data for Margin Assessments in Cable Performance.* SAND2013-2388. Sandia National Laboratories, 2013. DOI: 10.2172/1096518
18. Brown J.R., Bernstein R., White G.V., Glover S.F., Neely J.C., Pena G. et al. *Submerged Medium Voltage Cable Systems at Nuclear Power Plants: A Review of Research Efforts Relevant to Ageing Mechanisms and Condition Monitoring.* SAND2015-1794. Sandia National Laboratories, 2015. DOI: 10.2172/1177756
19. *Ageing Management of Cable in Nuclear Generating Stations. 13395-REP-00001 Rev. 0.* Canadian Nuclear Safety Commission, 2012; 131. URL: <https://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/pdfs/about/researchsupport/reportabstracts/RSP-0284-Final-report.pdf>
20. Kutateladze S.S. *Fundamentals of the heat transfer theory.* Moscow, Atomizdat Publ., 1979; 416. (rus.).

Поступила 30.06.2020, после доработки 13.07.2020;

принята к публикации 16.07.2020

Received June 30, 2020; Received in revised form July 13, 2020;

Accepted July 16, 2020

Информация об авторах

ЛЕБЕДЧЕНКО Ольга Сергеевна, канд. юр. наук, доцент, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 770128; ORCID: 0000-0001-5375-2167; e-mail: ol-26@mail.ru

ЗЫКОВ Владимир Иванович, д-р техн. наук, профессор, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры специальной электротехники автоматизированных систем и связи, Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 328773; ORCID: 0000-0002-1568-5167; e-mail: zykov01@mail.ru

ПУЗАЧ Сергей Викторович, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 18265; Scopus Author ID: 7003537835; ResearcherID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Information about the authors

Olga S. LEBEDCHENKO, Cand. Sci. (Leg.), Associate Professor, Associate Professor of Thermal Physics and Hydraulic Department, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 770128; ORCID: 0000-0001-5375-2167; e-mail: ol-26@mail.ru

Vladimir I. ZYKOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Laureate of the Russian Federation Government Prize in Science and Technology, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Professor of Department of SEASS, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 328773; ORCID: 0000-0002-1568-5167; e-mail: zykov01@mail.ru

Sergey V. PUZACH, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; ID RISC: 18265; Scopus Author ID: 7003537835; ResearcherID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

О возможности использования новой импульсной пожарной техники для качественно новой крупномасштабной дезинфекции

© В.Д. Захматов¹, М.В. Чернышов² ✉, Н.В. Щербак³

¹ Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 149)

² Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., 1)

³ ООО «ЗОЛА» (Россия, 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Промышленная, 19, офис 301)

АННОТАЦИЯ

Введение. Приведен обзор применения традиционной техники для распыления дезинфицирующих растворов и порошков в интересах борьбы с вирусными инфекциями в период пандемии.

Цели и задачи. Цель работы состоит в обосновании необходимости разработки нового способа комбинированной дезинфекции. Для ее достижения необходимо решить следующие задачи: 1) исследовать эффективность воздействия ударных волн на микроорганизмы; 2) обосновать возможность применения существующей пожарной техники, штатных зарядов и образцов вооружения для проведения ударно-волновой дезинфекции; 3) провести поиск оптимального режима эффективной крупномасштабной дезинфекции; 4) обосновать совместимость ударно-волнового режима с масштабным распылением химических дезинфицирующих составов; 5) разработать и адаптировать импульсную пожарную технику и методы ее применения для осуществления гибкого управления дезинфекцией в широком диапазоне обрабатываемых площадей.

Материалы и методы. Показаны недостатки применяемой техники дезинфекции распылом и невозможность их устранения путем модернизации традиционной гидравлической и пневматической техники, без изменения принципа ее действия.

Результаты и обсуждение. Предложен новый метод дезинфекции, основанный на имеющемся опыте разработки и эксплуатации импульсной пожарной техники. Перспективна технология дезинфекции с применением ударно-волнового механизма деструкции микроорганизмов и их последующего разрыва в волне разгрузки. Обоснован оптимальный путь ударного распыления дезинфицирующих химических растворов (ДХР) и порошков, что впервые позволяет создать эффект комбинированной дезинфекции, сочетающей различные механизмы воздействия: 1) ударное сжатие и резкий нагрев; 2) разгрузка давления, разрывающая микроорганизмы; 3) конвективный нагрев фронтом шквала, содержащего высокотемпературные паровые вихри; 4) химическая дезинфекция микрокаплями и парами ДХР, напыляемыми на различные поверхности, включая неровности, щели, трещины, объекты сложной формы.

Выводы. Предлагаемая высокоперспективная техника не имеет аналогов в мире. Она защищена российскими, украинскими, китайскими патентами. Ее производство целесообразно, если осуществлять его с достаточным финансированием на работающих заводах оборонно-промышленного комплекса.

Ключевые слова: многоствольные модули; полигонные испытания; замеры давления; пьезодатчики; блочные импульсные газожидкостные струи; канал ствола; срез ствола; дульная скорость

Для цитирования: Захматов В.Д., Чернышов М.В., Щербак Н.В. О возможности использования новой импульсной пожарной техники для качественно новой крупномасштабной дезинфекции // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 4. С. 59–69. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.59-69

✉ Чернышов Михаил Викторович, e-mail: mvcher@mail.ru

The potential use of new impulse fire-fighting machinery for qualitatively new large-scale disinfection

© Vladimir D. Zakhmatov¹, Mikhail V. Chernyshov² ✉, Nikolay V. Shcherbak³

¹ Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

² Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov (1-ya Krasnoarmeyskaya St., 1, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation)

³ ZOLA LLC (Promyshlennaya St., 19, office 301, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. This paper is an overview of the use of standard equipment capable of spraying disinfectants and powders and fighting viral infections during a pandemic.

Aims and objectives. The objective of the paper is to substantiate the need to develop a new method of combined disinfection. The following problems are to be tackled to meet this challenge: 1) the study of shock waves and their efficiency if applied to microorganisms; 2) the substantiation of the efficient use of the available fire-fighting machinery, standard charges and sample equipment for shock-wave disinfection; 3) the search for the optimal and effective cycle of large-scale disinfection; 4) the compatibility substantiation of the shock-wave mode of large-scale spraying of chemical disinfectants; 5) the development and adjustment of impulse fire-fighting equipment to ensure flexible disinfection control in a wide range of areas.

Materials and methods. The weaknesses of disinfection by spraying disinfectants and the impossibility of their elimination by upgrading traditional hydraulic and pneumatic equipment, without changing their operating principles, have been demonstrated.

Results and discussion. A new disinfection method, based on the accumulated experience of operation of impulse fire equipment, is proposed. A disinfection methodology that contemplates the shock-wave destruction of microorganisms has a strong potential. The optimal cycle of spraying disinfectant chemical solutions (DCS) and powders has been substantiated; it assures comprehensive disinfection based on various mechanisms of action: 1) impact compression and prompt heating; 2) pressure relief that destroys microorganisms; 3) convection heating using a squall front that has high-temperature steam whirls; 4) chemical disinfection using micro-drops and DCS vapors sprayed on various surfaces that have irregularities, slots, cracks, irregular shape items.

Conclusions. The proposed advanced equipment has no close substitutes in the world. It is protected by the Russian, Ukrainian and Chinese patents. Its production is expedient if launched at defense plants in operation if sufficient funding is available.

Keywords: multi-nozzle modules; field tests; pressure tests; piezo sensors; modular pulsed gas-liquid jets; nozzle channel; nozzle shear; muzzle velocity

For citation: Zakhmatov V.D., Chernyshov M.V., Shcherbak N.V. The potential use of new impulse fire-fighting machinery for qualitatively new large-scale disinfection. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):59-69. DOI: 10.22227/PVB.2020.29.04.59-69 (rus.).

✉ Mikhail Viktorovich Chernyshov, e-mail: mvcher@mail.ru

Введение

Дезинфекция — сложный, опасный и наиболее трудоемкий этап в борьбе с коронавирусом и другими вирусами, которые появятся в будущем. Применяемая сейчас техника дезинфекции по конструкции близка к пожарной гидравлической технике, огнетушителям, автоцистернам и коммунальным поливочным машинам. Важность такой техники трудно переоценить: если не обеспечить быструю и качественную дезактивацию зданий, помещений, улиц, открытых площадок и не дать людям индивидуальных средств не только пассивной защиты, но и активной личной дезактивации, а профессионалам и правоохранителям — ручных средств дезактивации групп людей, комнат, автомобилей, промышленных и других помещений, то все остальные мероприятия фактически сводятся на нет; по крайней мере, значительно снижается их эффективность.

Возможно, недостаточная эффективность современной дезинфицирующей техники является основной причиной того, что до сих пор (по состоянию на 12.05.2020) сохраняется рост зараженных коронавирусом. По мнению специалистов-медиков, как минимум 1–2 раза в сутки требуется проводить качественную дезактивацию мест, где были или могли быть зараженные люди. Есть достаточно оснований предполагать, что своевременная и ка-

чественная дезактивация — основная операция для прекращения распространения эпидемии.

За период изоляции подразделения российских войск радиационной, химической и биологической защиты (РХБЗ) обработали дезинфицирующими растворами более 4 млн м² (400 га) зараженных площадей зданий, больниц, дорог, улиц, площадей. Действующие места общественного пользования дезинфицируют несколько раз ежедневно. Однако для прекращения пандемии требуется дезинфицировать, как минимум, на порядок больше, что многократно превосходит возможности военных и гражданских дезинфекционных подразделений. Отсутствие достаточно быстрой и качественной дезинфекции зданий, помещений, открытых площадок многократно снижает эффективность изоляции и лечения больных [1–3].

В период пандемии коронавируса необходимо обеспечить нормальный рабочий режим предприятий, энергетических и военных объектов, правительственных и административных учреждений. Для этого требуется не менее чем двукратная (перед началом и в конце рабочей смены) дезинфекция рабочих помещений в широком диапазоне масштабов (офисы, больничные палаты, длинные коридоры, залы, крупнопролетные цеха, склады, ангары). Масштабы задач многократно превосходят возможности подразделений войск РХБЗ. Своевременная

и качественная дезинфекция требует внедрения новой технологии и техники распыления ДХР, к которым предъявляются следующие требования: быстрое, равномерное, сплошное проникающее напыление микрокапель ДХР на заданные площади сложной конфигурации с минимальным расходом ДХР в широком диапазоне требуемых масштабов распыления [4–6].

Очень характерно для современной пандемии коронавируса то, что даже наиболее богатые страны не могут справиться с эпидемией при наличии достаточного запаса вакцин и больших, быстро пополняемых запасов дезактивирующих растворов. Основная причина этого — высокие удельные расходы дезактивирующих составов из-за низкой эффективности современной техники распыления, практически мало отличающейся от традиционной пожарной техники. Однако при дезактивации важна не столько дальность и интенсивность подачи этих растворов, сколько эффективность достижения тонкодисперсного распыления дезактивирующих растворов и проникновения газомикрокапельного аэрозоля на обрабатываемые поверхности и внутрь них. Наиболее эффективные режимы распыла для дезактивации значительно отличаются от режимов пожаротушения, при которых ряд особенностей предлагаемой новой технологии распыления играет решающую роль [7, 8].

Цель данной статьи состоит в обосновании целесообразности и актуальности разработки нового способа комбинированной дезинфекции, предлагаемого авторами. Для достижения цели в ходе ведущихся и перспективных исследований необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести исследование эффективности воздействия ударных волн на микроорганизмы;
- 2) выполнить обоснование возможности применения штатных зарядов и образцов вооружения для проведения ударно-волновой дезинфекции;
- 3) произвести поиск оптимального режима эффективной крупномасштабной ударно-волновой дезинфекции;
- 4) дать обоснование совместимости ударно-волнового режима с масштабным распылением химических; дезинфицирующих составов;
- 5) выполнить разработку и адаптацию техники и методов ее применения для осуществления нового способа комбинированной дезинфекции, гибко управляемой в широком диапазоне обрабатываемых площадей.

Материалы и методы

Одной из наиболее трудно решаемых задач в борьбе с коронавирусом в настоящее время яв-

ляется дезактивация мелкораспыленными растворами спирта и хлора множества больших помещений, длинных коридоров, ангаров, залов ожидания, больниц, всех многолюдных помещений, особенно тех, в которых находились носители вируса. В настоящее время в помещениях применяются только ручные распылители с тяжелыми воздушными баллонами высокого давления. Используемые тонкодисперсные распылители — от традиционных (высокого давления) до пневмоимпульсных — имеют малый радиус действия. Дезактивация крупномасштабных и удлиненных помещений занимает много времени и требует нахождения множества людей в опасной зоне. Операторы дезактивирующей техники, работающие в тяжелых защитных изолирующих костюмах с ограниченной вентиляцией, быстро устают и не могут всю смену качественно выполнять однообразную работу в очень некомфортных условиях и опасных зонах [3, 9].

Очень актуальной в условиях семьи, малой фирмы, офиса, небольшого подразделения является необходимость наличия компактных и ручных распылителей, прежде всего для быстрой многократной самозащиты и дезактивации себя и товарища, члена семьи, коллеги, партнера по переговорам. Наличие средства эффективной самозащиты у человека в обстановке тотальной эпидемии, безусловно, значительно улучшит его самочувствие, настроение и объективную степень защищенности. При этом количество и возможности профессиональных команд дезактивации всегда очень ограничены, и своевременная обработка множества разнообразных объектов и людей при эпидемии практически невозможна. Их эффективность едва ли может быть повышена в требуемой степени применением современных вспомогательных составляющих — роботов-носителей, как в госпиталях Китая. Робот с распылителем повышает эффективность дезактивации по сравнению с оператором, так как робот не испытывает усталости, его движения более точны и стабильны. Однако шасси робота не может улучшить газодинамические характеристики потока ДХР и качество его дезактивационного воздействия. Поэтому распылитель, установленный на роботе, работает с большими удельными расходами дезактивирующей жидкости, масштаб его работы без перезарядки мал. Робот часто должен выезжать на перезарядку, что сильно ограничивает возможности дезактивации помещения и не позволяет намного сократить ее продолжительность по сравнению с работой человека-оператора [10, 11].

Для дезактивации улиц традиционно применяются традиционные поливочные машины, которые создают струи грубо распыленной воды и практи-

чески пригодны только для полива улиц. Поливы улиц, площадей дезактивирующими растворами с помощью традиционной техники приводят к очень большим удельным расходам реагентов вследствие того, что основная масса дезактивирующих растворов сливается в канализацию, а эффективность дезактивации очень низка. Например, применяемая сейчас тяжелая машина дезинфекции везет 7,5 т дезинфицирующего раствора, но его реально хватает не более чем на 500 м улицы шириной до 10 м. Дезактивация проводится с удельным расходом раствора 1,5 л/м² при теоретически необходимых 0,03...0,1 л/м² [3, 12].

В Киеве для дезинфекции городских объектов и промышленных территорий используют беспилотники (дроны, БПЛА), работающие в сельском хозяйстве для нанесения пестицидов на поля. Они осуществляют безлюдную дезинфекцию, сверху распыляют ДХР, что быстрее и внешне эффективнее покрывает площадь обработки. Однако при применении гидравлической техники слива ДХР не обеспечивается распыление струи. В результате площадь орошения мала и неравномерна. При применении пневмоимпульсной техники высокого давления высоки аэродинамические потери жидкости. Большая часть ДХР распыляется в воздухе, не долетая до поверхности с вирусами. Дроны могут быть эффективны для дезинфекции из-за их способности летать низко и с малыми скоростями, но при условии применения новых систем распыления, обеспечивающих тонкодисперсное распыление ДХР и устойчивость распыла к аэродинамическому сопротивлению. БПЛА для дезинфекции были предоставлены украинской компанией DroneUA, дистрибьютором китайских компаний, выпускающих БПЛА DJI Agras MG-1P с емкостью бака всего 10 л. Учитывая такую емкость и низкую эффективность распыла, дезинфекция может носить только декоративный, показательный характер. Одновременно киевские коммунальные предприятия продолжают мыть и дезинфекцию улиц в усиленном режиме.

Ажиотаж в мировом масштабе, вызванный коронавирусом, позволяет с большой степенью уверенности предположить, что в возможных военных конфликтах близкого будущего может применяться бактериологическое оружие. Поэтому совершенствование техники распыления средств дезактивации представляет большой интерес для защиты подразделений Вооруженных сил, других силовых ведомств, военных объектов, критически важных промышленных и энергетических объектов. При этом наиболее важными оказываются показатели качества дезинфекции, быстроты и малых удельных расходов дезактивационных составов, однако традиционная совре-

менная распылительная техника такими качествами обладает в очень малой степени [13, 14].

Требуемые масштабы и частота проведения дезактивации в различных странах в 50–200 раз превышают возможности существующих подразделений и техники дезактивации. Коэффициент полезного действия ДЗЖ (КПД_{ДЗЖ}) при существующих технологии и технике распыления составляет 5...10 %. Очевидно, что это является одной из основных причин медленной локализации распространения коронавируса. Согласно сообщениям СМИ, катастрофическая ситуация складывается в Вооруженных силах Украины. Из зоны боевых действий в Донбассе решением командования Северной группы войск выводится 59-я мотопехотная бригада, в которой больны коронавирусом 79 % военнослужащих — более 1500 солдат и офицеров, включая комбрига Геннадия Шаповалова. Бригада в полном составе направлена на территорию 242-го Гончаровского общевойскового полигона, где срочно, в режиме тушения пожара, оборудуется изоляционная зона. На смену ей должна прийти 24-я мехбригада, но позиции ее предшественников — траншеи, окопы, блиндажи, дзоты — требуют тщательной дезактивации, гораздо более трудной, чем дезактивация городских асфальтированных улиц и помещений. Если традиционная техника дезинфицирует асфальтированную поверхность с большими удельными расходами ДХР, то полевые укрепления для эффективной дезинфекции придется буквально заливать ДХР или засыпать хлорной известью. Это на длительное время исключит возможность пребывания военнослужащих. Необходима качественно иная техника, способная с малыми удельными расходами ДХР путем их проникающего напыления обеспечить эффективную дезинфекцию.

Американские эксперты вообще сомневаются в необходимости дезинфекции улиц во время пандемии коронавируса [15]. По их мнению, власти делают это для успокоения населения, поскольку эффективность этого метода недопустимо низка из-за неравномерности распыла дезинфекционных растворов и, как следствие, для создания эффекта сплошного воздействия на площади различной конфигурации — ведь дезинфекция проводится с очень большими расходами на единицу площади. Такой разлив хлорных растворов, несомненно, оказывает пагубное влияние на окружающую среду и людей. По данным ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения), хлорная известь, которой во многих странах обрабатывают поверхности, наносит ожоги, требующие серьезного лечения. «Нет никакой научной основы для традиционной технологии распыления и больших общественных работ. Это

дорого, малополезно — мы просто выбрасываем дезинфицирующие растворы в среду», — уточнил Майкл Остерхольм, директор Центра исследований инфекционных заболеваний и политики в Университете Миннесоты [15].

Французское агентство по здравоохранению (ARS) столичного региона Иль-де-Франс на вопрос мэрии Парижа о том, насколько эффективна дезинфекция улиц, ответило, что пользы от слива больших масс активных растворов мало. Однако они не отрицают необходимость регулярной масштабной дезинфекции улиц и помещений, где были или могли быть зараженные. В агентстве по здравоохранению парижского региона говорят об опасности дезинфекции большими массами хлорных растворов для окружающей среды. Ряд экспертов указывает на риски заражения химикатами водосточков и отравления животных и людей. «Вдыхание большого количества паров спирта, ДХР, хлорной извести может иметь немалые побочные эффекты и для населения», — заключили в Главном управлении здравоохранения Франции. Во многих городах специальные бригады используют смесь хлорной извести и воды, способную испортить одежду и создать ожоги на слизистых оболочках полости рта, глаз, носа. Пролит больших масс хлорных и спиртовых растворов заставляет проводить дезинфекцию с помощью людей в специальных изолирующих костюмах, которые соблюдают правила обращения с химическими веществами. Непосредственно после дезинфекции прикасаться к поверхностям без средств индивидуальной защиты не следует. Специалисты ВОЗ советуют не находиться в помещениях во время дезинфекции. После использования хлорки все обработанные поверхности должны быть обильно промыты обычной проточной водой, что существенно замедляет процесс дезинфекции.

В помещениях используют только ручные распылители с ранцевыми или возимыми вручную тяжелыми воздушными баллонами высокого давления и баллоном с запасом ДХР. Число подразделений радиационно-химической защиты во всех странах ограничено, а постоянно растущий объем задач дезактивации многократно превышает их реальные возможности. Остро необходима новая техника распыления ДХР, дезинфицирующая дистанционно, быстро и эффективно с малыми удельными расходами ДХР, близкими к теоретически необходимым [16–18].

Таким образом, есть все основания утверждать, что техника распыления дезактивационных растворов морально и технически устарела и не отвечает современным задачам, например громадным масштабам зданий, сооружений со сложным внутренним наполнением, множеством углов, извилин,

щелей, в которые надо обеспечить проникновение дезактивирующего микрокапельного аэрозоля. Проблематично обеспечить сплошное покрытие ДХР открытых площадей и широких улиц, подлежащих дезактивации. Эти операции осуществляются очень медленно, с большими расходами ДХР на единицу поверхности из-за неравномерности распыления и высоких аэродинамических потерь. Наличие ветра со скоростью 3–5 м/с делает качественную дезинфекцию практически невозможной [19, 20].

Результаты

Основным результатом разработок, предлагаемых авторами, должен стать новый метод дезинфекции. Применение неопасных для человека слабых ударных волн (УВ) для уничтожения вирусов эффективно на небольшой площади, включая все встречающиеся на ней щели. Однако УВ быстро (пропорционально кубу радиуса распространения) теряет свою интенсивность. Поэтому для распыления на больших площадях необходимы большие заряды высокоэнергетических материалов (ВЭМ), опасные для людей и окружающей среды. Проведение дезинфекции в жилой зоне с проведением масштабных взрывных работ нереально. Увеличить радиус и площадь ликвидации вирусов, снизить звуковой эффект разрушения от взрыва и обеспечить безопасность для людей возможно с помощью преобразования взрывной ударной волны. Один из способов трансформации УВ — насыщение последующей волны газов взрыва (ВГВ, спутного потока) жидкой средой. Такое преобразование УВ снижает перепад давления на ее фронте, растягивает ее фронт в глубину, повышает площадь фронта с сохранением его энергии, достаточной для уничтожения вирусов, расширяет радиус уничтожения вирусов и при этом оставляет УВ безопасной для человека и убийственной для вирусов. У авторов имеется довольно большой опыт направленного микрораспыления различных жидкостей и разработанная методика быстрого подбора оптимального режима распыления практически любых жидкостей [21–23]. Этот режим мультивихревого распыления позволит достичь высокого уровня дезактивации, недостижимого другими методами и техникой.

Новый метод дезинфекции основан на уникальном сочетании газовой и гидродинамической УВ. Газовая УВ формируется перед газомикрокапельным ударным фронтом шквала, увеличивающего дальность действия УВ (по существу, это хорошо известный передний фронт взрывной волны). Гидродинамическая волна формируется во фронте шквала за воздушной ударной волной. Такое соче-

тание впервые позволит реализовать комбинированную дезинфекцию: ударную деструкцию клеток с вирусами, мгновенный их нагрев выше критической температуры живучести, разрыв на части остатков клеток и вирусов под воздействием резкого спада давления в волне разрежения на отрицательной фазе, являющейся неизменным спутником УВ. За ударно-волновым воздействием следует химическая дезинфекция вирусов и бактерий высокоскоростными микрокаплями дезинфицирующего раствора, напыляемыми мощным фронтом на различные поверхности. При этом имеет место эффект проникающего напыления в неровности, щели, сложные конструкции за счет многократных отражений и мультивихревой структуры фронта шквала.

В самом общем физическом смысле фронт УВ представляет собой тонкую поверхность с резким перепадом давления, распространяющуюся со сверхзвуковой скоростью по газовой, жидкой, твердой среде и живым организмам. На фронте УВ в зависимости от ее скорости многократно и мгновенно (скачкообразно) увеличиваются температура, плотность, давление среды. В области повышенного давления за фронтом скорость распространения возмущений малой амплитуды (вторичных слабых ударных волн) в спутном воздушно-капельном потоке возрастает, что увеличивает стабильность головной волны и дальность ее эффективного воздействия.

Воздействие УВ на живые организмы уникально и зависит от амплитуды перепада давления, глубины фронта волны — времени изменения давления и кинетической энергии УВ, которая увеличивается пропорционально квадрату скорости волны V^2 и массе $M_{г\text{уф}}$ капель на фронте последующего шквала. Термодинамическое состояние среды, возникающее после прохождения УВ, уникально — ввиду необратимости ударно-волнового воздействия, его нельзя получить последовательным пропусканием двух или более УВ меньшей интенсивности. Ввиду малых микроразмеров вирусов (бактерий), ударный фронт мгновенно охватывает их и подвергает сильному комбинированному воздействию: сжатию, деструкции, нагреву, дезактивации в течение нескольких миллисекунд. Болезнетворные вирусы не способны это выдержать, особенно относительно хрупкий коронавирус, умирающий в теле человека при 38 °С.

Описанный механизм воздействия УВ косвенно подтверждается рядом исследований особенностей воздействия УВ на человека: разрывы наблюдаются в органах, содержащих большое количество крови (почки, печень, селезенка), наполненных газом (легкие, кишечник), имеющих полости, наполненные жидкостью (головной мозг, мочевого и желчный пу-

зыри). Дробление листьев, травы наблюдается при избыточном давлении свыше 50 кПа (0,5 атм). УВ характеризуется быстрым и резким нарастанием амплитуды (фаза высокого давления — положительная фаза), за которым следует спад (фаза низкого давления — отрицательная фаза). Проникая в живую ткань, ударная волна может поглощаться, отражаться и рассеиваться. Потери энергии УВ затрачиваются в основном на нагрев материала, по которому проходит волна, в зависимости от плотности среды распространения и ее акустической жесткости (импеданса). В фазе высокого давления ударная волна резко сжимает и мгновенно нагревает ткани, а во время фазы низкого давления сжатые ткани разрываются с эффектом, напоминающим кавитацию (образование пузырьков). Можно предположить, что сначала волна сжимает клетку с бактерией или вирусом (раздавливает, одновременно резко нагревая ее), а в фазе спада давления погибшая клетка лопаются.

В 1990-х годах в Германии и Швейцарии для лечения последствий хронического перенапряжения мышц и спортивных травм начали использовать новый метод — ударно-волновую терапию, уничтожающую прежде всего больные, воспаленные и зараженные вирусами клетки, оставляя неповрежденными здоровые. Эксперименты по дроблению камней в почках с помощью ударных волн начались еще до 1970-х годов, а спустя несколько лет этот метод, получивший название «литотрипсия», стал общепризнанным. Попутно изучали, как УВ действуют на кости; в 1980-х годах появились статьи об их воздействии на мягкие ткани, связки, сухожилия. Ударно-волновая терапия успешно лечит, например, пяточную шпору, хронический лучевой или локтевой эпикондилит — «локоть теннисиста».

УВ в аппарате создается, как правило, одним из четырех способов: электромагнитным, электрогидравлическим, пьезоэлектрическим, пневматическим. Электромагнитный генератор образует звуковую волну с помощью упругой деформации металлической мембраны (этот принцип используется, например, в акустических динамиках). Электрогидравлический метод основан на принципе, когда искра вызывает нагревание и ударную волну в жидкой среде. При пьезоэлектрическом методе ударная волна образуется за счет колебаний кристаллов кварца под действием высокого напряжения. При пневматическом методе колебания создаются за счет импульсов сжатого воздуха. Известны результаты исследования эффекта импульсно-периодического разряда в воде с энергией импульса, примерно равной 1 Дж [5]. Определены энергетические затраты бактерицидной очистки воды. Обнаружено свойство биологического воздействия разряда

на микроорганизмы, уничтожающее их. Это свойство предложено использовать на промышленных установках очистных сооружений в системе осушки ила.

Вирус состоит всего из одной молекулы нуклеиновой кислоты, которая хранит генетическую информацию. У него нет аппарата для самовоспроизведения, поэтому он размножается, только паразитируя на клетках зараженного организма. Перегрев и перепад давления (особенно импульсного характера) для вирусов — самые губительные факторы. Во взрывной УВ эти факторы сочетаются: сначала резкий перепад давления, затем существенный нагрев, который должен приводить к гарантированной гибели вирусов. Если учесть, что в создаваемой комбинированной волне присутствуют как газовая, так и гидродинамическая УВ, нагрев массы вещества, содержащего вирусы на поверхности или в приповерхностном слое, и сплошное проникающее ударное напыление микрокапель дезинфицирующего раствора по всей поверхности сложной конфигурации, включая узкие щели, представляются самым эффективным решением.

Таким образом, можно обоснованно предположить, что распыление выстрелом и направленным взрывом дезинфицирующих растворов с созданием шквала за ударным фронтом создает комплексное воздействие на клетки-носители вирусов и сами вирусы с сочетанием следующих поражающих факторов: ударное сжатие и нагрев, импульсная разгрузка, скоростное проникающее воздействие микрокапель ДХР. Каждый из этих механизмов уничтожения бактерий, вирусов сам по себе способен осуществить их уничтожение. Следовательно, такое комплексное сочетание воздействующих факторов обеспечивает практически четырехкратный запас надежности при дезинфекции вирусов.

Прямое воздействие взрывной УВ на живые существа, включая микроорганизмы, возникает в результате воздействия большого избыточного давления и скоростного напора воздуха. Непосредственное воздействие ударной волны (сильное сжатие в период действия фазы сжатия, мгновенное повышение давления в момент прихода УВ) ощущается как резкий удар, а скоростной напор создает лобовое давление и приводит к перемещению тела в пространстве. Ввиду небольших размеров микроорганизмов ударная волна мгновенно охватывает их и подвергает сильному сжатию в течение буквально нескольких миллисекунд.

При удалении от источника энергии интенсивность УВ, распространяющейся в пространстве, быстро убывает. В отличие от случая звуковой волны, рассматриваемой в акустическом приближении,

это обстоятельство объясняется не только геометрическими причинами (увеличением площади фронта волны по мере того, как этот сферический фронт расходится от источника), но и, в большей степени, поглощением энергии УВ, связанным с сильным нагреванием газа в области за волновым фронтом. УВ и спутный поток со шквалом создают площади дезинфекции, размеры которых зависят от мощности, вида фронта и рельефа местности или оборудования в помещении.

Обсуждение

Основным предметом обсуждения являются технические средства для осуществления комбинированной дезинфекции, предлагаемой авторами. Исходя из вышеизложенного, авторы работы предлагают новый метод комбинированной дезинфекции ударной волной и последующим шквалом пороховых высокотемпературных газов, насыщенных микрокаплями ДХР, характеризующийся следующим сочетанием воздействующих факторов:

- 1) ударной волной, реализующей мгновенную деструкцию ударным сжатием;
- 2) нагревом клеток с вирусами;
- 3) разрывом клеток при резком спаде давления в отрицательной фазе УВ;
- 4) последующим нагревом клеток пороховыми газами, составляющими несущую часть дезинфицирующего шквала;
- 5) проникающим сплошным ударно-вихревым напылением микрокапель ДХР в каждую щель, неровность поверхности, в сложные поверхности.

Таким образом, реализуется четырехкратное сочетание поражающих факторов, каждый из которых может самостоятельно решить задачу ликвидации вирусов. Комплексное сплошное воздействие удара и разгрузки, нагрева, напыления массы микрокапель ДХР создает огромный запас вероятности полной дезинфекции — уничтожения вирусов в широком диапазоне пространственных и поверхностных масштабов.

Для практической реализации этого метода предлагается технология импульсного ударно-волнового распыла (Z-технология) и техника, создающая выстрелами и залпами мощные мультивихревые газомикрокапельные шквалы с гибко регулируемые в широком диапазоне высокой кинетической энергией, дальним радиусом и большим масштабом эффективного действия. Эта техника создавалась в целях импульсного пожаротушения под научным руководством проф. В.Д. Захматова в СССР, на Украине и совершенствовалась в Китае, Эстонии, России. При испытаниях на полигонах

и в реальных ситуациях показаны следующие преимущества по сравнению с современной техникой тонкодисперсного распыления жидкостей:

- дальность R направленного распыления в заданном секторе увеличивается в 5–10 раз и более. Площадь сплошного проникающего воздействия фронта шквала увеличивается примерно пропорционально R^2 . Объем W , сквозь который проходит фронт шквала, обеспечивая эффективное воздействие распыления, увеличивается примерно пропорционально R^3 ;
- мультивихревая структура шквала, воздействующего на сложные поверхности (например, в отсеке, помещении, заполненном оборудованием, больничной палате, уставленной койками), за счет эффекта многократного отражения локальных вихрей и взаимосодействия вихрей обеспечивает многократное воздействие и проникающее напыление микрокапель раствора в углы, самые мелкие и извилистые поры. Это минимизирует зависимость качества и объема выполненной работы от оператора распылительной техники и обеспечивает стабильно высокое качество дезинфекции на всем объекте, где проводится обеззараживание;
- ударное действие фронта шквала (свойство, характерное только для механизма распыления, реализуемого в предлагаемой Z-технологии, где составной частью шквала является газовая УВ), играет дополнительное дезактивирующее действие, убивающее вирусы по всей поверхности, включая щели, а также по всему объему. Наличие дисперсной составляющей шквала увеличивает радиус его поражающего действия и в то же время позволяет ограничивать ударное воздействие диапазоном, не опасным для людей, присутствующих в зоне действия шквала;
- универсальность распыления позволит при необходимости распылять различные дезактивационные составы в широком диапазоне динамических параметров, что обеспечит комбинированное воздействие и многократно расширит диапазон решаемых задач. Это впервые позволит гибко регулировать характер воздействия за счет изменения не только вида распыляемого агента, но и динамического режима его распыления;
- время дезинфекции больших помещений будет измеряться не часами (бригада операторов и помощников с распылителями за 1 ч дезинфицирует от 20 до 60 тыс. м² в зависимости от наполненности помещений оборудованием), а минутами. Кроме того, 1...2 с будет занимать дезактивация людей и предметов. Таким обра-

зом, скорость дезинфекции повысится, как минимум, в 5–10 раз;

- оснащенность подразделений войск РХБЗ, национальной гвардии, санитарных подразделений Вооруженных сил, сил МЧС позволит многократно повысить качество и сократить сроки проведения дезинфекционных операций;
- множество людей на работе и дома, на улице, на природе получают возможность проведения самостоятельной, быстрой и качественной дезинфекции себя или родственников, знакомых, домашних животных, салона личного автомобиля, рабочего места, небольшой комнаты, кабины и других объектов. Это даст миллионам людей повышение чувства защищенности, что неопределимо и необходимо в период пандемии.

Рекомендации по практическому применению

Многоствольные модули на шасси танков, самоходных артиллерийских установок (САУ), джипов, прицепов и профессиональные распылители предназначены для использования подразделениями войск РХБЗ, гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ГОЧС), другими военными и военизированными подразделениями, привлекаемыми к проведению операции по дезактивации. Минимальные расходы ДХР впервые позволят создать автономные машины масштабной дезактивации. При этом 500 м улицы будут дезинфицироваться не за 30...40 мин с расходом 7,5 т ДХР, а за 30...60 с с расходом 0,5 т серий из 5-ти залпов (расход раствора на единицу поверхности при этом будет составлять около 0,1 л/м²).

Ручные тележки с многоствольными модулями более других образцов, в которых реализована Z-технология, пригодны для проведения дезактивации в больницах, госпиталях и других помещениях, где имеется множество отсеков и постоянно присутствуют зараженные люди. Они могут также найти широкое применение в госпиталях, пассажирских судах, на военных кораблях и подводных лодках, в поездах, самолетах и других средствах общественного транспорта. Вручную возимые многоствольные модули и профессиональные распылители будут востребованы военными, силами МЧС и охранными фирмами, особенно защищающими крупные объекты (небоскребы, торговые центры, гостиницы).

Для оснащения всех военнослужащих и сотрудников МЧС средствами индивидуальной быстросрабатывающей защиты, а также для массовой продажи населению широкий сбыт могут найти мини-распылители, производство которых создала фирма «ЗОЛА». При наличии заказов производство

можно быстро расширить. Профессиональные распылители и мини-распылители для широкого круга пользователей неоднократно проверены с 1980 г. в СССР, на Украине, в России; профессиональные огнетушители — на Украине в 1998–2013 гг., в Эстонии — с 2014 г. Сбыт мини-распылителей может превысить сотни миллионов штук ежегодно.

Профессиональный универсальный распылитель жидкостей и порошков выстрелом был сертифицирован на Украине в 2012 г. Его масса в заряженном состоянии составляет 5,6 кг. Распылитель комплектуется рюкзаком с 10 контейнерами общей массой 11 кг. Перезарядка распылителя контейнерами в виде однолитровых пластиковых легких бутылок, содержащих распылительные патроны (в том числе холостые), дезактивирующие жидкости и гели, пенообразователи, техническую и природную воду, производится за 3...5 с. Распылитель полностью безопасен при эксплуатации и характеризуется высокой эффективностью, стабильностью и безотказностью работы при температурах от –40 до 40 °С, в условиях влажности, запыленности, загрязнения.

Импульсный пневмораспылитель создает струю микрокапель с относительно малой начальной скоростью, кинетической энергией и дальностью не более 1,5 м. При таком распылении неизбежны аэродинамические потери (до 50 % и выше); слаб эффект проникающего напыления в щели, извилистые отверстия; отсутствуют отражения от поверхностей, увеличивающие эффект равномерного

напыления капель на всю поверхность сложной конфигурации. Ручным распылителем трудно или практически невозможно дезинфицировать помещения высотой более 3 м, вроде больниц и общественных центров, где в ряде стран спешно размещаются стационары для больных коронавирусом и палаты, требующие регулярной дезинфекции.

Предлагаемый профессиональный распылитель выстрелом 1 л жидкости создает локальный мощный шквал с быстро расширяющимся фронтом длиной до 1,5...2 м, способным по траектории полета накрыть площадь до 20...30 м² и пройти объем до 30...40 м² сплошным дезактивационным воздействием.

Выводы

Предлагаемая техника не имеет близких аналогов в мире, обладает патентной чистотой, защищена советскими, российскими, украинскими патентами. Она находится на начальном этапе своего развития и имеет большие резервы для дальнейшего совершенствования существующих образцов, проектирования и выпуска множества новых вариантов конструкций. Возможности организации производства в России и за рубежом реальны, если их осуществлять с достаточным финансированием по технологии, близкой к производству оружия, на работающих заводах оборонно-промышленного комплекса, изготавливающих реактивные системы, артиллерию и бронетехнику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слинкин С.В. Реакции и релаксация высоковозбужденных молекул в ударных волнах : монография. Тобольск : ГОУ ВПО «ТГПИ им. Д.И. Менделеева», 2008. С. 179–192.
2. Falkovich G. Fluid mechanics: a short course for physicists. Cambridge University Press, 2011. 180 p. DOI: 10.1017/CBO9780511794353
3. Mahy B.W.J., van Regenmortel M.H.V. (eds.) Desk encyclopedia of general virology. Academic Press, 2009. 672 p.
4. Гапон Д. «Фильтрующиеся вирусы» Открытие в гранях времени // Наука и жизнь. 2015. № 6. С. 38–50.
5. Горячев В.Л., Рутберг Ф.Г., Федюкович В.Н. О некоторых свойствах импульсно-периодического разряда с энергией в импульсе ~ 1 Дж в воде, применяемого для ее очистки // Теплофизика высоких температур. 1996. Т. 34. № 5. С. 757–760.
6. Наука и жизнь : журнал / ред. Е.Л. Лозовская. М. : Наука и жизнь, 2013. № 5. 148 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=239801>
7. Архангельский А.М., Григорьев А.М., Громоздов Г.Г., Наморский Н.М., Нуждин И.Д. Бактериологическое оружие и защита от него. М. : Воениздат, 1971. 210 с.
8. Lawrence C.M., Menon S., Eilers B.J., Bothner B., Khayat R., Douglas T. et al. Structural and functional studies of archaeal viruses // Journal of Biological Chemistry. 2009. Vol. 284. Issue 19. Pp. 12599–12603. DOI: 10.1074/jbc.R800078200
9. Edwards R.A., Rohwer F. Viral metagenomics // Nature Reviews Microbiology. 2005. Vol. 3. Pp. 504–510. DOI: 10.1038/nrmicro1163
10. On an invisible microbe antagonistic toward dysenteric bacilli: brief note by Mr. F. D'Herelle, presented by Mr. Roux // Research in Microbiology. 2007. Vol. 158. Issue 7. Pp. 553–554. DOI: 10.1016/j.resmic.2007.07.005

11. *Rosen F.S.* Isolation of poliovirus — John Enders and the Nobel Prize // *The New England Journal of Medicine*. 2004. Vol. 351. Pp. 1481–1483. DOI: 10.1056/NEJMp048202
12. *Norrby E.* Nobel Prizes and the emerging virus concept // *Archives of Virology*. 2008. Vol. 153. Pp. 1109–1123. DOI: 10.1007/s00705-008-0088-8
13. *Belay E.D., Schonberger L.B.* Transmissible spongiform encephalopathies // *Desk Encyclopedia of Human and Medical Virology*. Academic Press, 2009. Pp. 497–504.
14. *Lupi O., Dadalti P., Cruz E., Goodheart C.* Did the first virus self-assemble from self-replicating prion proteins and RNA? // *Medical Hypotheses*. 2007. Vol. 69. Issue 4. Pp. 724–730. DOI: 10.1016/j.mehy.2007.03.031
15. *Штурма Я.* «Немного перебор»: эксперты против дезинфекции улиц // *Газета.Ru*. 2020. URL: <https://www.gazeta.ru/social/2020/04/15/13049881.shtml>
16. *Захматов В.Д., Турсенев С.А., Чернышов М.В., Адаев А.А., Бекасов А.В.* Новые средства обеспечения эвакуации в общественных зданиях с массовым пребыванием людей // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2018. Т. 27. № 5. С. 61–69. DOI: 10.18322/pvb.2018.27.5.61-69
17. *Shutko V.N., Zakhmatov V.D., Kolganova O.O., Mykolushko A.N.* Theoretical bases for the development of chemosensitive detecting surface in technical devices for environment protection // *Electronics and Control Systems*. 2019. Vol. 3. Issue 61. Pp. 68–73. DOI: 10.18372/1990-5548.61.14223
18. *Shutko V.N., Zakhmatov V.D., Shutko O.O., Mykolushko A.N.* Mathematical and physical models of devices for detection of some chemical substances in the environment // *Electronics and Control Systems*. 2019. Vol. 2. Issue 60. Pp. 84–88. DOI: 10.18372/1990-5548.60.13819
19. *Захматов В.Д., Ширишов А.Н.* Пожаротушение, предотвращение взрывов, нейтрализация токсичного дыма на подводных лодках // *Оборонно-промышленный потенциал*. 2019. № 4. С. 42–46.
20. *Захматов В.Д., Щербак Н.В.* Развитие новой техники тушения пожаров радиоактивного леса в Чернобыльской Зоне // *Оборонно-промышленный потенциал*. 2019. № 3. С. 68–71.
21. *Захматов В.Д., Турсенев С.А., Онов А.В., Щербак Н.В., Озеров А.В.* Развитие радиационно-химической защиты // *Оборонно-промышленный потенциал*. 2019. № 3. С. 72–74.
22. *Захматов В.Д., Онов В.А., Щербак Н.В.* Анализ экологического ущерба от нефтяных разливов // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2019. № 1 (49). С. 73–80.
23. *Захматов В.Д., Чернышов М.В., Щербак Н.В.* Технология распыления биосорбентов для масштабной локализации разливов нефти на море и в гаванях (часть 1) // *Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России*. 2017. № 4. С. 37–42.

REFERENCES

1. *Slinkin S.V.* *Reactions and relaxation of highly excited molecules in shock waves : monograph*. Tobolsk, GOU VPO “TGPI im. D.I. Mendeleev”, 2008; 179-192. (rus.).
2. *Falkovich G.* *Fluid Mechanics: A Short Course for Physicists*. Cambridge University Press, 2011; 180. DOI: 10.1017/CBO9780511794353
3. *Mahy B.W.J., van Regenmortel M.H.V.* (eds.) *Desk Encyclopedia of General Virology*. Academic Press, 2009; 672.
4. *Gapon D.* “Filterable viruses”. *Discovery in the face of time. Science and Life*. 2015; 6:38-50. (rus.).
5. *Goryachev V.L., Rutberg F.G., Fedyukovich V.N.* Some properties of pulse-periodic discharge in water with energy per pulse of ~ 1 J for water purification. *High Temperature*. 1996; 34(5):746-749.
6. *Science and Life: journal / ed. E.L. Lozovskaya*. Moscow, Science and Life, 2013; 5:148. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=239801> (rus.).
7. *Arkhangelskiy A.M., Grigoryev A.M., Gromozdov G.G., Namorskiy N.M., Nuzhdin I.D.* *Bacteriological weapons and protection against them*. Moscow, Voenizdat, 1971; 210. (rus.).
8. *Lawrence C.M., Menon S., Eilers B.J., Bothner B., Khayat R., Douglas T. et al.* Structural and Functional Studies of Archaeal Viruses. *Journal of Biological Chemistry*. 2009; 284(19):12599-12603. DOI: 10.1074/jbc.R800078200
9. *Edwards R.A., Rohwer F.* Viral metagenomics. *Nature Reviews Microbiology*. 2005; 3:504-510. DOI: 10.1038/nrmicro1163
10. *On an invisible microbe antagonistic toward dysenteric bacilli: brief note by Mr. F. D’Herelle, presented by Mr. Roux. Research in Microbiology*. 2007; 158(7):553-554. DOI: 10.1016/j.resmic.2007.07.005

11. Rosen F.S. Isolation of Poliovirus — John Enders and the Nobel Prize. *The New England Journal of Medicine*. 2004; 351:1481-1483. DOI: 10.1056/NEJMp048202
12. Norrby E. Nobel Prizes and the emerging virus concept. *Archives of Virology*. 2008; 153:1109-1123. DOI: 10.1007/s00705-008-0088-8
13. Belay E.D., Schonberger L.B. Transmissible Spongiform Encephalopathies. *Desk Encyclopedia of Human and Medical Virology*. Academic Press, 2009; 497-504.
14. Lupi O., Dadalti P., Cruz E., Goodheart C. Did the first virus self-assemble from self-replicating prion proteins and RNA? *Medical Hypotheses*. 2007; 69(4):724-730. DOI: 10.1016/j.mehy.2007.03.031
15. Shturma Ya. “A bit too much”: Experts against Street Disinfection. *gazeta.ru*. 2020. URL: <https://www.gazeta.ru/social/2020/04/15/13049881.shtml>
16. Zakhmatov V.D., Tursenev S.A., Chernyshov M.V., Adaev A.A., Bekasov A.V. New means of providing evacuation in public buildings with mass stay of people. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2018; 27(5):61-69. DOI: 10.18322/pvb.2018.27.5.61-69 (rus.).
17. Shutko V.N., Zakhmatov V.D., Kolganova O.O., Mykolushko A.N. Theoretical bases for the development of chemosensitive detecting surface in technical devices for environment protection. *Electronics and Control Systems*. 2019; 3(61):68-73. DOI: 10.18372/1990-5548.61.14223
18. Shutko V.N., Zakhmatov V.D., Shutko O.O., Mykolushko A.N. Mathematical and physical models of devices for detection of some chemical substances in the environment. *Electronics and Control Systems*. 2019; 2(60):84-88. DOI: 10.18372/1990-5548.60.13819
19. Zakhmatov V.D., Shirshov A.N. Firefighting, prevention of explosions, neutralization of toxic smoke on submarines. *Defense Industrial Potential*. 2019; 4:42-46. (rus.).
20. Zakhmatov V.D., Shcherbak N.V. Development of a new technique for extinguishing fires in a radioactive forest in the Chernobyl Zone. *Defense Industrial Potential*. 2019; 3:68-71. (rus.).
21. Zakhmatov V.D., Tursenev S.A., Onov A.V., Shcherbak N.V., Ozerov A.V. Development of radiation and chemical protection. *Defense Industrial Potential*. 2019; 3.:72-74. (rus.).
22. Zakhmatov V.D., Onov V.A., Shcherbak N.V. Analysis of environmental damage from oil spills. *Problems of Technosphere Risk Management*. 2019; 1(49):73-80. (rus.).
23. Zakhmatov V.D., Chernyshov M.V., Scherbak N.V. Technology of pulse-pulverization the biosorbents for large-scale liquidation of oil-spreads at sea & harbors (part 1). *Vestnik of Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia*. 2017; 4:37-42. (rus.).

Поступила 13.05.2020, после доработки 05.06.2020;

принята к публикации 29.06.2020

Received May 13, 2020; Received in revised form June 5, 2020;

Accepted June 29, 2020

Информация об авторах

ЗАХМАТОВ Владимир Дмитриевич, д-р техн. наук, профессор, профессор научно-организационного отдела, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 852616; Scopus Author ID: 6603327210; ORCID: 0000-0002-1770-8705; e-mail: zet.pulse@gmail.com

ЧЕРНЫШОВ Михаил Викторович, д-р техн. наук, профессор кафедры Плазмогазодинамики и теплотехники, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ ID: 133164; Scopus Author ID: 13405460000; ResearcherID: F-1991-2010, ORCID: 0000-0001-8297-9993; e-mail: mvcher@mail.ru

ЩЕРБАК Николай Владимирович, канд. техн. наук, ведущий конструктор, ООО «ЗОЛА», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-8505-2226; e-mail: vksys.nikolay@gmail.com

Information about the authors

Vladimir D. ZAKHMATOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of Scientific and Organizational Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 852616; Scopus Author ID: 6603327210; ORCID: 0000-0002-1770-8705; e-mail: zet.pulse@gmail.com

Mikhail V. CHERNYSHOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor of Plasma-Gas-Dynamics and Heat Engineering Department, Baltic State Technical University “VOENMEH” named after D.F. Ustinov, Saint Petersburg, Russian Federation; ID RISC: 133164; Scopus Author ID: 13405460000; ResearcherID: F-1991-2010; ORCID: 0000-0001-8297-9993; e-mail: mvcher@mail.ru

Nikolay V. SHCHERBAK, Cand. Sci. (Eng.), Leading Designer, ZOLA LLC, Saint Petersburg, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-8505-2226; e-mail: vksys.nikolay@gmail.com

УДК 614.839/614.841

Пути решения проблемы взрывов бытового газа в жилых домах

© А.С. Харламенков ✉

Академия государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены основные проблемы обеспечения пожаровзрывобезопасности жилых зданий с газоиспользующим оборудованием. Проведен анализ возможных причин развития аварийной ситуации с образованием опасных концентраций природного газа в помещениях квартир. Даны разъяснения о степени влияния на угрозу возникновения взрыва типовых пластиковых окон. Представлены профилактические меры и технические способы снижения числа взрывоопасных случаев в процессе эксплуатации газового оборудования. Выполнен обзор действующей нормативной литературы, законопроектов и иных открытых источников, формирующих общее представление о состоянии системы потребления газа в жилом секторе и путях повышения ее безопасности.

Ключевые слова: пожарная безопасность; взрыв; авария; газификация; сигнализация; утечка бытового газа

Для цитирования: Харламенков А.С. Пути решения проблемы взрывов бытового газа в жилых домах // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 4. С. 70–74.

✉ Харламенков Александр Сергеевич, e-mail: h_a_s@live.ru

Ways to solve the problem of household gas explosions in residential buildings

© Aleksandr S. Kharlamenkov ✉

State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

ABSTRACT

The main problems of ensuring fire and explosion safety of residential buildings with gas-using equipment are considered. Analysis of possible causes of an emergency with the formation of hazardous concentrations of natural gas in the premises of the apartment conducted. Explanations about the degree of influence on the threat of explosion of typical plastic windows are given. Preventive measures and technical methods for reducing the number of explosive cases during the operation of gas equipment are presented. A review of the current regulatory literature, draft laws and other open sources, which form a general idea of the state of the gas consumption system in the residential sector and ways to improve its safety, was completed.

Keywords: fire safety; explosion; accident; natural gas; gasification signaling; domestic gas leak

For citation: Kharlamenkov A.S. Ways to solve the problem of household gas explosions in residential buildings. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(4):70-74.

✉ Aleksandr Sergeevich Kharlamenkov, e-mail: h_a_s@live.ru



ВОПРОС:

По итогам 2019 г. уровень газификации России увеличился на 1 % и суммарно составил 70,1 %. Данное значение характерно в основном для городов. Для сельской местности этот показатель с трудом достигает 60 %.

В соответствии с энергетической стратегией России к 2035 г. уровень газификации страны планируется увеличить до 82,9 %. Такое значение рассматривается как достаточно амбициозное. В правительстве считают невыгодной прокладку газопровода к уда-

ленным и малонаселенным пунктам. Также указывают на низкую платежеспособность населения, которое не может себе позволить дорогостоящее подключение к газопроводу. Цена такого мероприятия для оснащения двухэтажного частного дома, например, в Московской области, с учетом всех затрат на оборудование и работы достигает 500 тыс. руб. При этом окупаемость по сравнению с использованием электрической энергии составляет порядка 10–15 лет. Поэтому уровень газификации жилого сектора до 2035 г. возрастет в лучшем случае на 5 %.

Основными путями повышения процента общей газификации страны считаются дополнительные денежные вложения в строительство новых газопроводов. Меньше всего средств планируется выделить на реконструкцию и ремонт существующих газораспределительных сетей.

С повышением числа подключенных к газопроводной сети пользователей неизбежно возрастает общий уровень пожаровзрывоопасности жилых домов. Согласно ежегодной статистике за последние пять лет более 70 % пожаров приходится на жилой сектор, где 1,5 % происходит из-за нарушений в работе или неисправности газового оборудования (плиты, котлы, колонки).

Наибольшее число жертв от взрывов бытового газа фиксируется в одноэтажных домах и зданиях высотой до девяти этажей. По информации из открытых источников можно констатировать, что за прошедший 2019 г. зафиксировано более 60 случаев взрыва газа, в результате которых произошло травмирование и гибель людей. Кроме этого, в СМИ сообщается о более 40 инцидентах с утечкой газа. Их также можно рассматривать в качестве потенциально возможных случаев с последующим взрывом.

Все вышеперечисленные чрезвычайные ситуации (ЧС) усугубляются еще и тем, что повреждения от взрыва не ограничивались только одним помещением, а распространялись на соседние квартиры и этажи по причине разрушения перегородок и несущих конструкций здания.

Во времена существования СССР тоже имело место достаточно большое количество случаев взрыва бытового газа, но с меньшими по масштабу последствиями.

Почему существующая ситуация со взрывами бытового газа стала представлять такую значительную угрозу для собственников квартир и какие пути решения проблемы предлагаются государственными и коммерческими организациями на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации жилых зданий?

ОТВЕТ:

Наибольшее внимание общественности было сфокусировано на взрывах газа в жилых домах начиная с 2019 г. после трагических событий 31 декабря 2018 г. в Магнитогорске и 14 января 2019 г. в г. Шахты Ростовской области, унесших жизни 44 человек. В результате по всем регионам страны начались внеплановые проверки состояния газового оборудования, которые, как и раньше, столкнулись с главной проблемой — человеческим фактором.

В ходе посещения квартир и частных домов сотрудники газовой службы не могли выполнить осмотр и проверку газового оборудования, так как собственники банально

не открывали дверь или вовсе отсутствовали. В этом усматривается халатность проживающих, за которую, согласно п. 80 Постановления Правительства Российской Федерации № 410¹, в худшем случае возможно прекращение подачи газа путем перекрытия общеподъездного стояка, что случается довольно редко. Поэтому собственники не спешат проявлять сознательность и идти навстречу надзорным органам. Аналогичное наказание может быть применено к жильцам при отсутствии договора о техническом обслуживании и ремонте газового оборудования специализированными организациями или при неоплате выставленных счетов в указанные сроки. Обязанность заключения таких договоров возлагается на собственника помещения.

Таких «газовщиков» в каждом городе очень много, половина из них является мошенниками. Поэтому жители домов и квартир просто боятся с ними связываться из-за недоверия и неуверенности в их истинных намерениях.

Для устранения данной ситуации следует более активно информировать население о существующих в их районе обслуживающих организациях. Например, создать и опубликовать список юридических лиц и индивидуальных предпринимателей саморегулируемых организаций (СРО), действующих в рамках Федерального закона № 315-ФЗ², ст. 55.8 Градостроительного кодекса (ГрК) РФ³ и включенных в государственный реестр СРО в области инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства. Следует отметить, что выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту газового оборудования жилых домов и квартир не является лицензируемым видом деятельности, согласно ст. 12 Федерального закона № 99-ФЗ⁴.

В случае многоквартирных домов поиском надежного исполнителя занимается управляющая компания или товарищество собственников жилья (ТСЖ), а жильцам частного сектора приходится вести поиски обслуживающей организации самостоятельно. Зачастую ей становится фирма, выполняющая подключение дома к газопроводной сети.

¹ О мерах по обеспечению безопасности при использовании и содержании внутридомового и внутриквартирного газового оборудования (с изм. от 19.03.2020) : Постановление Правительства Российской Федерации № 410.

² О саморегулируемых организациях : Федеральный закон от 01.12.2007 № 315-ФЗ ; принят Государственной Думой 16.11.2007; одобрен Советом Федерации 23.11.2007.

³ Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изм. от 13.07.2020) : Федеральный закон Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ; принят Государственной Думой 22.12.2004; одобрен Советом Федерации 24.12.2004.

⁴ О лицензировании отдельных видов деятельности (с изм. от 18.02.2020) (ред. с 28.03.2020) : Федеральный закон Российской Федерации от 04.05.2011 № 99-ФЗ; принят Государственной Думой 22.04.2011; одобрен Советом Федерации 27.04.2011.

Очевидно, что таких мер все же недостаточно, чтобы исключить взрывопожароопасные ситуации в процессе пользования людей газовым оборудованием. Необходимо учитывать и техническую сторону решения проблемы. Ее можно кратко представить в виде следующих составляющих:

- легкобрасываемые конструкции (ЛСК) и пластиковые окна со стеклопакетами;
- приточно-вытяжные системы естественной и механической вентиляции;
- системы контроля загазованности помещений.

Необходимость применения легкобрасываемых конструкций в помещениях с газоиспользующим оборудованием отмечена в п. 6.5.3 СП 60.13330.2016⁵ без пояснений, как их реализовывать на практике. В п. 5.10 СП 402.1325800.2018⁶ даются разъяснения, где в качестве ЛСК должно использоваться остекление оконных проемов с площадью стекла из расчета 0,03 м² на 1 м³ объема помещения. В качестве альтернативы допускается применение оконных конструкций со стеклопакетами по ГОСТ Р 56288-2014⁷. Последний вариант ЛСК не совсем годится для установки в жилых зданиях, особенно в многоквартирных домах, и по большей части подходит для применения в строительстве промышленных объектов.

В жилищном строительстве причин для отказа от стеклопакетов, изготовленных по ГОСТ Р 56288-2014, несколько, а именно:

- опасность выпадения людей из окон (облокачиваться на стеклопакет запрещено);
- нарушение теплового баланса в помещении (особенности оконных конструкций не позволяют обеспечить требуемую герметичность между соединенными элементами);
- уменьшение площади светового проема при монтаже в зданиях с оконной четвертью из-за особенностей ЛСК;
- высокая опасность несанкционированного проникновения в помещение с наружной стороны здания через окно;
- более высокий уровень шума внутри помещения по сравнению с обычными пластиковыми окнами.

Союз производителей полимерных профилей (СППП) указывает на эти и другие негативные стороны применения окон с ЛСК в своем открытом письме министру стро-

⁵ Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха (актуализированная редакция СНиП 41-01-2003) (с изм. № 1) (в ред. от 22.01.2019) : (СП 60.13330.2016) : введен в действие 17.06.2017.

⁶ Здания жилые. Правила проектирования систем газопотребления : (СП 402.1325800.2018) : введен в действие 06.06.2019.

⁷ ГОСТ Р 56288-2014. Конструкции оконные со стеклопакетами легкобрасываемые для зданий. Технические условия.

ительства и жилищно-коммунального хозяйства⁸. В нем также говорится о более значимых причинах взрывов бытового газа в жилых домах, и они опосредованно связаны с конструкцией окон.

Конечно, стандартные стеклопакеты не могут выполнять роль ЛСК, так как их разрушение происходит при высоком избыточном давлении взрыва. В этом случае окно вылетит вместе с наружной стеновой панелью при условии, что последняя имеет специально выполняемую ослабленную механическую связь с поперечными перегородками. В кухне размерами 3 × 3 × 2,5 м со стеклопакетами в оконных проемах, заполненной стехиометрической смесью природного газа с воздухом (около 10 % об.), при взрыве избыточное давление может достичь примерно 0,8 МПа, а усилие, действующее на межэтажные перекрытия, составит 7 × 10⁶ Н (700 тс), поэтому они будут разрушены [1]. Если сменить окна с пластиковых на обычные с деревянной рамой с крупным переплетом толщиной 2 мм, то их разрушение произойдет уже при 0,005 МПа при вскрытой площади отверстия не менее 1,5 м², и давление взрыва не поднимется выше этого значения. Следовательно, несущие конструкции здания и перекрытия останутся целыми. Поэтому практическая реализация ЛСК в виде окон со стеклопакетами в жилом секторе на сегодняшний день связана с вышеуказанными последствиями.

Но зачем же доводить ситуацию до опасного состояния? Ведь суть проблемы нужно искать среди причин, приводящих к образованию взрывоопасной концентрации газа. Концентрационные пределы распространения пламени (взрыва) метана в воздухе по справочнику [2] составляют 5,28–14,1 % об. Если принять суммарную мощность четырех работающих конфорок стандартной плиты по ГОСТ 33998-2016⁹ равной 6,6 кВт, а теплотворное значение газа 8 кВт·ч/м³, то при объеме типовой советской кухни (хрущевки), составляющем 15 м³, взрывоопасная смесь образуется примерно за 1 ч. Очевидно, что такой объем газа может появиться в помещении только в следующих случаях:

- 1) пользователь ушел из дома или лег спать, забыв при этом перекрыть подачу газа к духовке (ее мощность в среднем составляет 3 кВт) и/или нескольким конфоркам;
- 2) пользователь включил все конфорки для обогрева помещения или приготовления пищи, а сам при этом удалился в другую комнату, оставив без контроля работающую плиту;
- 3) из подводимого к плите газопровода постоянно происходит утечка газа из-за нарушения герметичности соединений и/или газового оборудования.

⁸ Эксперты СППП обосновали риски использования легкобрасываемых конструкций в жилых газифицированных зданиях. URL: https://tybet.ru/content/news/index.php?SECTION_ID=603&ELEMENT_ID=104736 (дата обращения: 25.07.2020).

⁹ ГОСТ 33998-2016 (EN 30-1-1+A3:2013, EN 30-2-1:2015). Приборы газовые бытовые для приготовления пищи. Общие технические требования, методы испытаний и рациональное использование энергии.

Первый и второй варианты могут быть решены путем установки современной плиты с функцией газ-контроль, позволяющей прекращать подачу газа при гашении пламени. Данная функция должна быть у каждой устанавливаемой в доме газовой плиты. Но, увы, не все жители могут позволить себе приобретение таких моделей. Если учесть, что ежегодно в России приобретается порядка 400 тыс. современных газовых плит, а число газифицированных квартир составляет около 44 млн, то за последние 30 лет новыми моделями оснащено не более 1/3 квартир по всей стране. Поэтому случаи с утечками газа по вине собственников до сих пор остаются актуальными. Третий вариант утечки возможен в любой из квартир, где не проводится ежегодное техническое обслуживание внутридомового или внутриквартирного газового оборудования. Ведь в минимальный перечень работ, представленный в Приложении к Постановлению Правительства Российской Федерации № 410, включена как проверка герметичности соединений, так и проверка работоспособности газовой плиты.

Важно отметить, что в рассмотренных выше вариантах утечки не учитывается работа естественной вентиляции и возможность растекания газа в другие помещения квартиры. Все это способствовало бы значительному увеличению времени образования взрывоопасной смеси. Кроме того, при длительной утечке газа большую опасность представляет его распространение в другие помещения, нежели по объему кухни. В таком случае ударная волна при взрыве смеси будет воздействовать на несущие конструкции сразу нескольких помещений.

Следовательно, основной задачей по обеспечению взрывобезопасности газифицированных домов является надлежащее содержание вентиляционных каналов и контроль за отсутствием нарушений в работе естественной вентиляции (в соответствии с требованиями Постановления Правительства Российской Федерации № 410, СП 60.13330.2016 и СП 402.1325800.2018).

В помещения квартир приточный воздух должен подаваться в объеме, обеспечивающем требуемые параметры микроклимата в пределах рабочей зоны (СП 60.13330.2016). Скорость потока движения воздуха при естественном проветривании в холодное время года должна составлять 0,15 м/с (ГОСТ 30494-2011¹⁰) с минимальным расходом на одного человека от 30 м³/ч (СП 60.13330.2016). Для помещений с газоиспользующим оборудованием значение воздухообмена, согласно СП 54.13330.2016¹¹, следует обеспечивать на уровне 100 м³/ч. Данные показатели практически невозможно поддерживать при нарушениях в работе естественной вентиляции помещений квартиры, причиной чего можно считать вышеупомянутые пластико-

вые окна со стеклопакетами. Данная проблема на сегодняшний день частично решается путем применения специальных приточных клапанов, устанавливаемых непосредственно на сами оконные створки или в раму. Для жилых помещений такие устройства позволяют обеспечивать производительность от 4,8 до 42 м³/ч на каждое окно при перепадах давлений в пределах 5–10 Па. Отдельные модели позволяют добиться воздухообмена на уровне 100 м³/ч, но большинство из них врежется в наружные стены или окна в процессе монтажа и имеет высокую стоимость. Как показывает практика, большинство моделей приточных клапанов не справляется с поставленной задачей в теплое время года, когда перепад давлений минимален, что частично устраняется применением принудительной вытяжной вентиляции. В зимний период многие модели вовсе перестают выполнять поставленную перед ними функцию из-за образующейся наледи. Также имеют место проблемы с образованием конденсата, повышением уровня шума и появлением сквозняков. Поэтому для повышения эффективности применения приточных клапанов в целях обеспечения взрывобезопасности жилых домов требуется проведение дополнительных научных и инженерных изысканий.

При обработке статистических данных о взрывах бытового газа можно констатировать, что большинство ЧС приходится на холодное время года¹². Это объясняет необходимость обеспечения эффективной и, главное, постоянной рециркуляции воздуха при наличии закрытых пластиковых окон. Даже при отсутствии возможности установки приточных клапанов следует исключить возможность накопления природного газа в квартире. Вышеуказанная система газ-контроль справляется с этой задачей не полностью, так как не способна предотвратить утечку из мест соединений газопровода и плиты. Для этой цели существуют системы контроля загазованности с автоматическим отключением подачи газа. Обязательное их применение в жилых домах и помещениях квартир регламентируется рядом нормативных документов (Постановлением Правительства Российской Федерации № 410, СП 60.13330.2016, СП 402.1325800.2018, ГОСТ 33998-2016 (EN 30-1-1+A3:2013, EN 30-2-1:2015), СП 62.13330.2011*¹³). Данная система включает в себя сигнализаторы утечки метана и оксида углерода, срабатывающие при достижении загазованности помещения 10 % нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПП) природного газа и содержания в воздухе CO более 20 мг/м³. Сигнализатор должен быть соединен с быстродействующим электромагнитным клапаном, установленным на вводе газа в помещение и отключающим его подачу по сигналу загазованности (СП 60.13330.2016). Также в систему могут входить

¹⁰ ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях (в ред. от 01.09.2019). Введ. 01.01.2013. М. : Стандартинформ, 2019.

¹¹ Здания жилые многоквартирные (актуализированная редакция СНиП 31-01-2003) (с Изм. № 1, 2, 3) : (СП 54.13330.2016) : введен в действие 04.06.2017.

¹² Гильдия инженеров газового оборудования (ГИГО). Случаи взрывов газа и отравлений угарным газом в 2019 году в РФ по открытым источникам. URL: <https://xn--c1aaoz.xn--p1ai/blog/2019/05/15> (дата обращения: 26.07.2020).

¹³ Газораспределительные системы (актуализированная редакция СНиП 42-01-2002) (с изм. № 1, 2, 3) (в ред. от 20.11.2019) : (СП 62.13330.2011*) : введен в действие 20.05.2011.

дополнительные компоненты в виде звуковых сигнализаторов, устройств контроля воздухообмена и принудительного включения приточной и/или вытяжной вентиляции и т.п. В СП 402.1325800.2018 также указано, что устройства аварийной световой и звуковой сигнализации (ГОСТ Р ЕН 50194-1-2012)¹⁴ должны включаться при содержании горючих газов в воздухе от 3 до 20 % НКПП и не выключаться до момента снижения концентрации ниже установленного порога.

Во вновь возводимых частных и многоквартирных домах такая система контроля может быть выполнена силами застройщика, но в уже построенных жилых зданиях бремя ответственности по ее установке ложится на собственников квартир. Это обстоятельство вновь приводит к очередной проблеме. Попытка ее решения была предпринята в 2019 г. депутатами Государственной Думы в виде внесения поправок в ст. 166 Жилищного кодекса РФ. Законопроектом предлагается решить вопрос по обеспечению газовой безопасности с помощью установки соответствующих систем за счет средств фондов капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах. Большинство депутатов поддержало данную инициативу. Сейчас проект Федерального закона № 625887-7 находится на стадии его рассмотрения в первом чтении, дата которого пока не определена¹⁵. После предварительного рассмотрения проекта Комитет Государственной Думы по энергетике отметил его нецелесообразность ввиду неоднозначности в составе компонентов устанавливаемой системы и отсутствия требований установки сигнализации в перечне обязательных работ при проведении капитального ремонта. В заключении Комитета отмечается необходимость доработки нормативных документов в этом направлении. Включение монтажа системы контроля загазованности в перечень работ также потребует увеличения размера взносов на капитальный ремонт для населения или дополнительного финансирования региональных программ капитального ремонта из бюджетов бюджетной системы Российской Федерации. Из этого следует, что проблема обеспечения газовой безопасности, скорее всего, останется в ближайшее время не разрешенной, но определенные шаги для этого активно предпринимаются.

Российская Федерация занимает второе место по добыче природного газа в мире, поэтому говорить о полном

¹⁴ ГОСТ Р ЕН 50194-1-2012. Сигнализаторы горючих газов для жилых помещений. Часть 1. Общие технические требования и методы испытаний (в ред. от 01.08.2019).

¹⁵ Объекты законодательства Государственной Думы. URL: https://sozd.duma.gov.ru/bill/625887-7#bh_histras (дата обращения: 27.07.2020).

отказе от применения газового оборудования в жилых зданиях в пользу аналогичного, работающего от электричества, говорить просто бессмысленно. Газификация частного сектора и многоквартирных (высотой до 28 м (СП 402.1325800.2018)) домов будет уверенно продолжаться от года к году. Это обстоятельство ведет к необходимости повышения ответственности граждан и усиления контроля со стороны обслуживающих организаций и Правительства РФ за правильной эксплуатацией газоиспользующего оборудования собственниками жилья, а также своевременного технического обслуживания, ремонта и замены неисправных устройств на более безопасные, отвечающие требованиям современных нормативных документов. И хотя бюрократическая машина нашей страны не всегда позволяет быстро реализовывать появляющиеся в ее структуре новые законопроекты из-за разногласий в понятийном аппарате или нехватки финансовых ресурсов, но все же способна при ЧС обеспечить миллионные выплаты пострадавшим от взрывов газа и выделять миллиардные суммы на восстановление разрушенных зданий, а значит, сможет найти пути и средства для обеспечения пожаровзрывобезопасности газового хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водяник В.И. Как противостоять взрывам бытового газа // Безопасность труда в промышленности. 2008. № 4. С. 18–20.
2. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2-х ч. 2-е изд. перераб. и доп. М. : Асс. «Пожнаука», 2004. Ч. 2. 774 с.

Материал поступил в редакцию 03.08.2020

Received August 3, 2020

Информация об авторе

ХАРЛАМЕНКОВ Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 763967; e-mail: h_a_s@live.ru

Information about the author

Aleksandr S. KHARLAMENKOV, Senior Lecturer of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia; Moscow, Russian Federation; ID RISC: 763967; e-mail: h_a_s@live.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал «ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY» статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т.п. Авторы должны указать, к какому типу относится их статья:

- научно-теоретическая;
- научно-эмпирическая;
- аналитическая (обзорная);
- дискуссионная;
- рекламная.

Не допускается направлять в редакцию работы, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены через электронную редакцию по адресу info@fire-smi.ru.

Статья должна быть ясно и лаконично изложена и подписана всеми авторами (скан страницы с подписями). Основной текст статьи должен содержать в себе четкие, логически взаимосвязанные разделы. Все разделы должны начинаться приведенными ниже заголовками, выделенными полужирным начертанием. Для научной статьи традиционными являются следующие разделы:

- введение;
- материалы и методы (методология) — для научно-эмпирической статьи;
- теоретические основы (теория и расчеты) — для научно-теоретической статьи;
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (аналитической (обзорной), дискуссионной, рекламной) при условии четкого выделения разделов:

- введение;
- основная (аналитическая) часть;
- заключение (выводы).

Подробную информацию о содержании каждого из обозначенных выше разделов см. на сайте издательства www.fire-smi.ru.

Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть точными и лаконичными и в то же время достаточно информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустима транслитерация с русского языка, кроме неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также неперебиваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это касается также аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>).

Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, страну, индекс, город, название улицы, номер дома,

а также контактные телефоны и электронные адреса всех авторов; дать информацию о контактном лице. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

2.3.3. ORCID, Researcher ID, Scopus Author ID.

2.4. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторское резюме на английском языке в русскоязычном издании является для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- содержательным (должно отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т.е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать четко обозначенные подразделы Введение (Introduction), Цели и задачи (Aims and Purposes), Методы (Methods), Результаты (Results), Обсуждение (Discussion), Заключение (выводы) (Conclusions).

Результаты работы следует описывать предельно точно и информативно. При этом должны приводиться основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предположениями, гипотезами, описанными в работе.

Текст должен быть связным; излагаемые положения должны логично вытекать одно из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общепотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом упоминании в тексте резюме.

В авторское резюме не следует включать схемы, таблицы, иллюстрации, формулы, а также ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

Для повышения эффективности при онлайн-поиске включите в текст аннотации ключевые слова и термины из основного текста и заглавия статьи.

2.5. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или коротких словосочетаний). Они указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т.п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации. Используемые в заголовке слова и термины не нужно повторять в качестве ключевых слов: ключевые слова должны дополнять информацию в заголовке. При переводе ключевых слов на английский язык избегайте по возможности употребления слов «and» (и), «of» (предлог, указывающий на принадлежность), артиклей «a», «the» и т.п.

2.6. Основной текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки. Таблицы, рисунки, методы, численные данные (за исключением общеизвестных величин), опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками.

Если представленные в статье исследования выполнены авторами при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда, Министерства образования и науки Российской Федерации и т.п., то в конце статьи обязательно следует дать информацию об этом с указанием номера и названия гранта (научного проекта, госконтракта и т.д.).

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ. Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений предоставляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо печатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций неприемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения; однотипные таблицы следует строить одинаково. Цифровые данные необходимо округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться. Ссылки на все таблицы в тексте обязательны.

В журнале предусматривается двуязычное представление табличного и графического материала, поэтому необходимо прислать перевод на английский язык:

- для таблицы: ее названия, шапки, боковика, текста во всех строках, сносок и примечаний;
- для рисунка: подписанной 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 % об 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.disserscat.com>.

Не следует включать в список литературы ГОСТы; ссылки на них должны быть даны непосредственно по тексту статьи.

Убедитесь, что указанная в списке литературы информация (Ф.И.О. автора, название книги или журнала, год издания, том, номер и количество (интервал) страниц) верна.

Неопубликованные результаты, проекты документов, личные сообщения и т.п. не следует указывать в списке литературы, но они могут быть упомянуты в тексте.

2.8. References (пристайные списки литературы на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо. Обращаем Ваше внимание, что перевод названия статей следует давать так, как он проходил при их публикации, а перевод названий журналов должен быть официально принятым. Произвольное сокращение названий источников цитирования приведет к невозможности идентифицировать ссылку в электронных базах данных.

При составлении References необходимо следовать схеме:

- ИОФ авторов (транслитерация; для ее написания используйте сайт <http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>, обязательно включив в настройках справа сверху флажок «Американская (для визы США)»; если автор цитируемой статьи имеет свой вариант транслитерации своей фамилии, следует использовать этот вариант);
- заглавие на английском языке — для статьи, транслитерация и перевод названия — для книги;
- название источника (журнала, сборника статей, материалов конференции и т.п.) в транслитерации и на английском языке (курсивом, через косую черту);
- выходные данные;
- указание на язык изложения материала в скобках (например, (in Russian)).

Например: D.N. Sokolov, L.P. Vogman, V.A. Zuykov. Microbiological spontaneous ignition. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 1, pp. 35-48 (in Russian) (другие примеры см. www.fire-smi.ru).

3. Статьи, присланные не в полном объеме, на рассмотрение не принимаются.

4. В случае получения замечаний в ходе внутреннего рецензирования статьи авторы должны предоставить доработанный вариант текста в срок не более одного месяца с обязательным выделением цветом внесенных изменений, а также отдельно подготовить конкретные ответы-комментарии на все вопросы и замечания рецензента.

Несвоевременный, а также неадекватный ответ на замечания рецензентов и научных редакторов приводит к задержке публикации до исправления указанных недостатков. При игнорировании замечаний рецензентов и научных редакторов рукопись снимается с дальнейшего рассмотрения.

5. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати. Предпочтательная 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!

10-я Юбилейная Казахстанская
международная выставка

Охрана, безопасность, средства спасения,
противопожарная защита



10 лет
успеха

Алматы, Казахстан

6 – 8
октября
2020

КЦДС «Атакент»



Системы
и технические
средства
видеонаблюдения



Системы
и средства
ограничения
доступа



Системы
защиты
периметра



Системы и средства
обеспечения
пожарной
безопасности



Технические
средства
обеспечения
безопасности

РЕКЛАМА

www.securex.kz

Организаторы:



ТОО "Itessa" (для стран СНГ и международных компаний)
Тел.: +7 727 258 34 34; E-mail: julia.palagutina@iteca.kz

Атакент Экспо (для казахстанских компаний)
Тел.: +7 727 275 13 57; E-mail: atakent.expo@mail.ru





ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ◆ железобетонных конструкций
- ◆ противопожарных преград
- ◆ легкосбрасываемых конструкций
- ◆ фасадных систем
- ◆ палуб, переборок

Свидетельство о признании испытательной лабораторией РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.
Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com