

1-2018

**ПОЖ** Издательство  
**НАУКА**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-**

# БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

МЕТОД ОЦЕНКИ  
ДОСТОВЕРНОСТИ  
КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА  
РИСКА НА ОБЪЕКТАХ  
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ



9-я Выставка  
технических средств охраны  
и оборудования для обеспечения  
безопасности и противопожарной защиты



**securika**  
Krasnodar



Краснодар

27 февраля –  
2 марта  
2018

ул. Конгрессная, 1  
ВКК «Экспоград Юг»

Забронируйте стенд  
[securika-krasnodar.ru](http://securika-krasnodar.ru)



Оборудование  
и аксессуары  
для систем  
видеонаблюдения



Оборудование  
для систем контроля  
и управления  
доступом



Оборудование  
и средства  
для обеспечения  
противопожарной защиты



Оборудование  
для систем  
сигнализации  
и оповещения

РЕКЛАМА



Организатор «КраснодарЭКСПО»  
в составе Группы компаний ITE  
+7 (861) 200-12-50, 200-12-34  
[securika@krasnodarexpo.ru](mailto:securika@krasnodarexpo.ru)

Генеральный  
информационный партнер

**RUBEJ**

ОДНОВРЕМЕННО С ВЫСТАВКОЙ



**WorldBuild** Krasnodar  
YugBuild

12+

**УЧРЕДИТЕЛЬ –**

ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

Журнал издается с 1992 г.,  
периодичность выхода –  
12 номеров в год.

СМИ зарегистрировано Федеральной службой  
по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций –  
свидетельство ПИ № ФС 77-43615 от 18  
января 2011 г.

**РЕДАКЦИЯ:**

Зав. редакцией Корольченко О. Н.

Шеф-редактор Соколова Н. Н.

Редактор Крылова Л. В.

**Адрес редакции:**

121357, Россия, г. Москва,  
ул. Вересаева, д. 10.

**Адрес для переписки:**

121352, Россия, г. Москва, а/я 43.

Тел./факс: (495) 228-09-03,  
8 (909) 940-01-85.

E-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru;  
www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

Журнал включен в перечень ведущих рецензи-  
руемых научных журналов и изданий, реко-  
мендованных ВАК России для публикации  
трудов соискателей ученых степеней, в Рефе-  
ративный журнал и базы данных ВИНТИ РАН,  
в базу данных Российского индекса научного  
цитирования (РИНЦ), в базу данных Russian  
Science Citation Index на платформе Web  
of Science, 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 "Пожаро-  
взрывобезопасность / Fire and Explosion Safety"  
только по согласованию с редакцией.

При цитировании ссылка обязательна.

Авторы и рекламодатели несут ответственность  
за содержание представленных в редакцию  
материалов и публикацию их в открытой  
печати.

Мнение редакции не всегда совпадает с мне-  
нием авторов опубликованных материалов.

Подписано в печать 15.01.2018.

Выход в свет 25.01.2018.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "ДИАЛОГ"  
(125315, г. Москва, Ленинградский просп.,  
д. 80, корп. Г).

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:**

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

**ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:**

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

**Стрижак П. А.**, д. ф.-м. н. (Национальный исследовательский Томский политех-  
нический университет, Томск, Россия)

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Бакиров И. К.**, к. т. н. (Уфимский государственный нефтяной технический уни-  
верситет, Уфа, Россия, Республика Башкортостан)

**Барбин Н. М.**, д. т. н., профессор (Уральский государственный аграрный универ-  
ситет, Екатеринбург, Россия)

**Брушлинский Н. Н.**, д. т. н., профессор, академик РАЕН, заслуженный деятель  
науки 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)

**Корольченко Д. А.**, к. т. н., академик МАНЭБ (Национальный исследовате-  
льский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия)

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

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

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

**Поландов Ю. Х.**, д. т. н., профессор (Орловский государственный университет  
им. И.С. Тургенева, Орел, Россия)

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

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

**Рестас А.** (Институт управления при ЧС Национального университета Государ-  
ственной службы, Будапешт, Венгрия)

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

**Тамразян А. Г.**, д. т. н., профессор, действительный член ВАНКБ (Национальный  
исследовательский Московский государственный строительный университет,  
Москва, Россия)

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

**Холщевников В. В.**, д. т. н., профессор, академик и почетный член РАЕН, ака-  
демик ВАНКБ, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации  
(Национальный исследовательский Московский государственный строительный  
университет, Москва, Россия)

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

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

**Шилдс Т. Дж.**, профессор (Ольстерский университет, Ольстер, Великобритания)

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ХОЛЩЕВНИКОВ В. В.  
Терминология или идеология –  
препятствие безопасной эвакуации людей  
из высотных зданий при пожаре

5

### БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

КОЖЕВИН Д. Ф., НОВИКОВ В. Р.,  
ПОЛЯКОВ А. С., КЛЕЙМЕНОВ А. В.  
Методика расчета пожарного риска  
на производственных объектах с жидкими  
моторными топливами с учетом применения  
порошковых огнетушителей

27

МАТВЕЕВ А. В., МАКСИМОВ А. В.,  
ЩЕРБАКОВ О. В., СМІРНОВ А. С.  
Метод оценки достоверности количественного анализа  
риска на объектах нефтегазовой отрасли

35

### БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

ПРОНИН Д. Г., КОНИН Д. В.  
Проблемы применения стальных и железобетонных  
несущих конструкций высотных зданий  
с точки зрения их огнестойкости

50

### БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

СЕНЧЕНКО В. А., КАВЕРЗНЕВА Т. Т.,  
РУМЯНЦЕВА Н. В., СКРИПНИК И. Л., ЛЕЛИКОВ Г. Д.  
Внедрение стационарных анкерных устройств  
для безопасной эксплуатации на высоте опор  
воздушных линий связи и линий электропередач

58

### СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

БАКИРОВ И. К., ЧЕЛЕКОВА Е. Ю.  
Универсальный пожарный ствол

69

### ВОПРОС – ОТВЕТ

ХАРЛАМЕНКОВ А. С.  
Требования пожарной безопасности  
к собственникам объектов защиты при смене  
категории и целевого назначения помещений

77

## CONTENTS

### GENERAL QUESTIONS OF COMPLEX SAFETY

KHOLSHCHEVNIKOV V. V.  
Terminology or ideology –  
obstruction to safe evacuation of people  
from high-rise buildings in case of fire

### SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

KOZHEVIN D. F., NOVIKOV V. R.,  
POLYAKOV A. S., KLEYMENOV A. V.  
Method for calculating fire risk taking  
into account the use of fire extinguishers  
on production facilities with liquid  
motor fuel

MATVEEV A. V., MAKSIMOV A. V.,  
SHCHERBAKOV O. V., SMIRNOV A. S.  
Method of estimation for the reliability of quantitative  
risk analysis on objects of oil and gas industry

### SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

PRONIN D. G., KONIN D. V.  
Problems of application of steel and reinforced  
concrete bearing structures for tall buildings  
with respect to their fire resistance

### LIFE SAFETY

SENCHENKO V. A., KAVERZNEVA T. T.,  
RUMYANTSEVA N. V., SKRIPNIK I. L., LELIKOV G. D.  
Implementation of stationary anchor devices for safe  
operation at the height of support of air communication  
lines and electric transmission lines

### MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

BAKIROV I. K., CHELEKOVA E. Yu.  
Universal fire trunk

### QUESTION – ANSWER

KHARLAMENKOV A. S.  
Fire safety requirements for owners  
of the protection objects by changing  
the category and purpose premises



Препятствие безопасной эвакуации людей из высотных зданий

Стр. 5



Достоверность анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли

Стр. 35



Огнестойкость несущих конструкций высотных зданий

Стр. 50



Безопасность работ на высоте опор ВЛС и ВЛЭ

Стр. 58

Стр. 69



Универсальный пожарный ствол

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



## FOUNDER —

“POZHNAUKA” Publishing House, Ltd.

Journal founded in 1992,  
issued 12 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 77-43615 on January 18, 2011.

## EDITORIAL STAFF:

Chief of editorial staff **Korolchenko O. N.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

## Address of editorial staff:

Veresaeva St., 10, Moscow,  
121357, Russia.

**Corresponding to:** Post office box 43,  
Moscow, 121352, Russia.

**Phone/Fax:** (495) 228-09-03,  
8 (909) 940-01-85.

E-mail: [info@fire-smi.ru](mailto:info@fire-smi.ru), [mail@firepress.ru](mailto:mail@firepress.ru);  
[www.fire-smi.ru](http://www.fire-smi.ru), [www.firepress.ru](http://www.firepress.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, in Russian  
Science Citation Index, 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 re-  
produced in any form or by any means without  
the prior permission of the Publishers. Repro-  
ducing 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 15.01.2018.  
Date of publication 25.01.2018.  
Format is 60x84 1/8.  
Printing is 2000 copies.  
Chalk-overlay mat paper.  
Offset printing.

Printed at “DIALOG”, Ltd.  
(Leningradskiy Avenue, 80, build. G,  
Moscow, 125315, Russian).

## EDITOR-IN-CHIEF:

**Korolchenko A. Ya.**, Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of International Academy of  
Ecology and Life Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,  
Moscow, Russia)

## DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

**Molkov V. V.**, Dr. Tech. Sci., Professor (Ulster University, Ulster, Northern Ireland, UK)

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

## EDITORIAL BOARD:

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

**Barbin N. M.**, Dr. Tech. Sci., Professor (Urals State Agrarian University, Yekaterinburg,  
Russia)

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

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

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

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

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

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

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

**Polandov Yu. Kh.**, Dr. Tech. Sci., Professor (Orel State University named after I. Tur-  
genev, Orel, Russia)

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

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

**Restas A.**, Ph. D. (National University of Public Service, Institute of Disaster Manage-  
ment, Budapest, Hungary)

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

**Tamrazyan A. G.**, Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of World Academy of Sciences  
for Complex Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,  
Moscow, Russia)

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

**Kholshchevnikov V. V.**, Dr. Tech. Sci., 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  
(National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia)

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

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

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

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

**В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ**, д-р техн. наук, заслуженный работник высшей школы РФ, эксперт Научно-исследовательского института “Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы” (НИИ РИНКЦЭ) (Россия, 123317, г. Москва, ул. Антонова-Овсеенко, 13, стр. 1); профессор кафедры “Пожарная безопасность в строительстве”, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129129, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4); главный научный сотрудник Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: reglament2004@mail.ru)

УДК 614.84:721.011+692.66

## ТЕРМИНОЛОГИЯ ИЛИ ИДЕОЛОГИЯ — ПРЕПЯТСТВИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ПОЖАРЕ

Показано, что размещение многих тысяч человек на этажах современных высотных зданий, расположенных на высоких относительно земли уровнях, стало возможным только после изобретения безопасного в эксплуатации электрического лифта. Отмечено, что пожаронезащищенные лифтовые установки являются каналами интенсивного распространения опасных факторов пожара, поэтому долгое время для эвакуации людей предусматривались только незадымляемые лестничные клетки. Показано, что одновременная эвакуация всего населения высотного здания по лестничным клеткам продолжается несколько часов и не может обеспечить безопасности людей, в первую очередь из-за образования плотностей людских потоков  $7-8 \text{ чел./м}^2$ . Выявлена высокая эффективность организации поэтапной комбинированной (пешеходной + пожарозащищенные лифты) эвакуации людей, что позволяет в разы сократить ее продолжительность и обеспечить движение людских потоков в лестничных клетках при плотностях, не превышающих  $3 \text{ чел./м}^2$ . Выявлена смысловая идентичность терминов “эвакуация” и “спасение”, из-за казуистики трактовки которых отечественное противопожарное нормирование, запрещая использование лифтов в составе путей эвакуации, на протяжении десятилетий обрекает население высотных зданий на повышенную угрозу жизни при пожаре, а также является препятствием на пути внедрения современных прогрессивных технических средств и организационных решений для противопожарной защиты людей в высотных зданиях.

**Ключевые слова:** высотные здания; пожарная безопасность; люди с ограниченными возможностями; безопасность эвакуации; спасение; лифтовые установки; системы противопожарной защиты; автоматическое пожаротушение.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.01.5-26

### Введение

В многовековой практике градостроительства до недавнего времени отсутствовали количественные показатели классификации зданий по высоте, поэтому еще в конце XIX в. к высотным относили те здания, количество этажей в которых значительно отличалось от этажности окружающей застройки. Исходя из этого, первыми высотными зданиями следует считать инсулы (от лат. *Insula* — остров), появившиеся в Риме в III веке до нашей эры, в период становления Рима как социального, религиозного и торгового центра империи, сопровождавшегося ростом его населения (первый в мире город с населением более миллиона человек). Витрувий<sup>1</sup> пи-

сал: “сами обстоятельства заставили искать помощи в возведении верхних этажей”. Так в древнем Риме появился многоэтажный жилой дом с комнатами и квартирами, предназначенными для сдачи внаем. Такие дома на отдельных участках городских земельладельцев отделялись друг от друга узкой полосой свободной земли, как остров проливом (отсюда, по видимому, и появилось название *insula*). На первом этаже большинства инсул располагались торговые лавки, ремесленные мастерские, закусочные и таверны. Зажиточные люди снимали более комфортабельные квартиры на нижних (2-м и 3-м) этажах. Квартиры на этажах, расположенных выше, предназначались для более бедных съемщиков. Так, например, известный древнеримский государственный деятель Сулла (консул в 88 и 80 гг. до н. э., затем император) в молодости платил за скромную квартиру

<sup>1</sup> Витрувий (*Marcus Vitruvius Pollio*) — римский архитектор, инженер, теоретик архитектуры второй половины I в. до н. э.

3 тысячи сестерциев в год, тогда как вольноотпущенник за квартиру такого же размера, но этажом выше — 2 тысячи. Потолки на верхних этажах инсул были настолько низкие, что их жильцам приходилось ходить согнувшись.

Дефицит столичного жилья (сохранились сведения, что некоторые сенаторы даже пропускали заседания сената из-за поиска квартир) породил дороговизну квартир, спекуляцию участками под строительство и увеличение высоты зданий. Владельцы участка старались выстроить недорогой многоквартирный дом и быстро получить доход, сдав его за высокую арендную плату. Съемщики извлекали выгоду из последующего поднаема: посредники снимали весь дом и затем предлагали для аренды отдельные этажи; съемщики этих этажей, в свою очередь, сдавали уже отдельные квартиры, а съемщики квартир — отдельные комнаты или углы. Для пересъемщиков домов и квартир прибыль могла составить около 20–33 %. Историки считают, что высота римских инсул была не менее 5 этажей. Некоторые из них были гораздо выше, но даже среди них выделялась *insula Felicies*. Некоторые исследователи считают, что она господствовала над застройкой Рима, как 102-этажное здание *Empire State Building* над Манхэттеном 30-х годов прошлого века (рис. 1).

Стремление к дешевизне и простоте в строительстве доходных домов привело к тому, что детали из обработанного камня в инсулах являлись редкостью. Основу конструкций большинства из них составлял кирпич-сырец и фахверк из деревянных брусьев с заполнением из плетеных матов, перекрытия —

по деревянным балкам. Такое конструктивное решение приводило к тому, что инсулы часто разрушались из-за недостаточной прочности строительных материалов при их подмыве в результате разлива Тигра, а также к частым пожарам. О постоянных пожарах в Риме писали Страбон, Цицерон, Ювенал и другие античные авторы. Древнегреческий философ Плутарх (около 46–120 гг.) называл пожары и обвалы “сожителями Рима”. Строительство инсул прекратилось с распадом Римской империи (V в.).

Строительство высотных зданий (в понимании позапрошлого века) возобновилось в конце XIX в. в США благодаря изобретению в 1852 г. Э. Отисом<sup>2</sup> ловителей кабины лифта (при обрыве тросов) и запатентованному им в 1861 г. электрическому лифту. (Однако первый электрический пассажирский лифт, который мог подниматься вверх на 22 м всего за 11 с, был изготовлен немецкой фирмой “Siemens and Halske” в 1880 г.) Эти технические достижения обеспечили для людей любых физических возможностей доступность сколь угодно высоко расположенных этажей здания, и здания стали “расти” вслед за совершенствованием лифтостроения и системы организации функционирования лифтов. Появились “небоскребы” Нью-Йорка, формирующегося центра мирового бизнеса. Уже в 1931 г. на Манхэттене было построено 102-этажное офисное здание *Empire State Building* высотой 443 м (см. рис. 1). На первых 85 этажах этого здания расположено более 1000 офисов, в которых работает 21 тыс. чел. Здание обслуживают 73 скоростных лифта, позволяющие подниматься на 80-й этаж за 45 с (длина пути по лестнице составляет 1860 ступеней).

Суть американских небоскребов та же, что и древнеримских инсул. Это доходные дома XIX века, “так как незастроенная земля для спекулянтов потерянная земля” [1], а “число “счастливых” участков можно благодаря небоскребу умножить до предела, продавая все ту же землю” [2, с. 127].

“За 50–70 лет подавляющая часть зданий делового центра Манхэттена сменялась трижды. На каждом из этих этапов каждое новое здание замыслилось и заказчиками, и архитекторами как потенциально вечное. Однако стихия свободного предпринимательства понуждала сносить почти неамортизированные здания на участках зон престижа, цена которых все время возрастала: на месте зданий в семь–десять этажей вырастали здания в 20–25 этажей, для того чтобы через десяток лет уступить место 40- или 50-этажным” [3], а в будущем — зданиям высотой 100 этажей и более.



Рис. 1. *Empire State Building* в застройке Манхэттена 30-х годов прошлого века

Fig. 1. *Empire State Building* during Manhattan development the 30s years of the last century

<sup>2</sup> Элиша Грейвс Отис (*Elisha Graves Otis*) (1811–1861) — сменил много профессий: был строительным рабочим, работал на лесопилке, строил кареты, служил на мебельной фабрике. В 1853 г. открыл собственную мастерскую по изготовлению лифтов.



Рис. 2. Доходный дом Силуанова (Рождественский бульв., 17)  
Fig. 2. Siluanov's tenement building (Rozhdestvenskiy Blvd., 17)

В России первый лифт был поставлен в престижном доходном доме Н. И. Силуанова, построенном в 1904 г. по проекту архитектора П. А. Заруцкого в Москве на Рождественском бульваре (д. 17) (рис. 2).

Строительство многоэтажных зданий в России также началось с доходных домов: в период с 1905 по 1912 гг. самым высоким жилым зданием Москвы (8 этажей  $\approx 35$  м) был доходный дом Афремова на ул. Садовая-Спасская, 19 (архитектор О. О. Шишковский); в 1912 г. был построен первый “небоскреб” Москвы — 10-этажный ( $\approx 40$  м) доходный дом Эрнеста Нирнзее (рис. 3).

Дом Нирнзее, который можно назвать образом московской инсульты начала XX в., имеет коридорную планировку. Коридор соединяет небольшие квартиры (от 28 до 57 м<sup>2</sup>), не имеющие кухонь, благодаря чему снижалась съемная плата. Квартиросъемщикам же предлагалось питаться в ресторане на 11-м этаже здания, т. е. на плоской крыше. При ресторане работал театр миниатюр с музыкой. На крыше были также устроены велотрек, сквер, смотровая площадка. Подъем на крышу с 5 ч вечера осуществлялся на лифте; входная плата на крышу с правом подъема составляла 20 коп. В подвале дома был открыт театр миниатюр “Летучая мышь”, а также размещались театральная мастерская и общественная столовая.

Строительство первых высотных зданий в СССР началось в год 800-летия Москвы в соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 13.01.1947 “О строительстве высотных зданий в Москве”, подписанным И. В. Сталиным. Этим постановлением перед архитекторами и строителями была поставлена задача создания в Москве ряда высотных зданий, которые, обозначив основные ар-



а



б

Рис. 3. Дом Нирнзее (Большой Гнездиновский переулок, 10):  
а — 1934 г. (фото взято с сайта “Москва, которой нет”, на крыше дома стоит триангуляционная вышка); б — памятная доска на фасадной стене дома Нирнзее

Fig. 3. House of Nimsee (Bolshoy Gnezdnikovskiy Side-street, 10):  
а — 1934 (picture from “Moskva, kotoroy net” web-site, triangulation tower on house roof); б — memorial plate on Nimsee house facade wall

хитектурные оси города, должны были изменить силуэт столицы.

Однако не только “стихия свободного предпринимательства” или необходимость обозначить основные архитектурные оси побуждает города расти вверх. Это социальная проблема<sup>3</sup>, а именно: необходимость противостоять территориальному расползанию при малоэтажной застройке вынуждает город перейти к строительству зданий повышенной этажности, даже при отсутствии цены на землю. В связи с этим при разработке Технико-экономических основ Генерального плана развития Москвы на 1961–1970 годы “...на основе тщательного анализа целесообразной застройки было принято решение осуществить в Москве строительство зданий высотой 9–16 этажей, а на отдельных участках... зданий и большей этажности” [4]. В СССР начался этап массового развития высотного строительства общественных и жилых зданий.

Бум высотного строительства в России возник после перестройки. В Москве, а затем и в других

<sup>3</sup> Социальные проблемы, общественные проблемы — вопросы и ситуации, которые прямо или косвенно влияют на значительное количество членов сообщества и поэтому требуют коллективных усилий по их преодолению.



**Рис. 4.** Один из видов на Московский международный деловой центр

**Fig. 4.** One of views on Moscow International Business Centre

крупных городах страны стала внедряться точечная застройка многоэтажными зданиями уже застроенных территорий (якобы “незастроенная земля”, а на самом деле — свободная по условиям инсоляции), а затем и массовая высотная застройка территорий Новой Москвы. К этому же периоду относится строительство высотных зданий Московского международного делового центра (ММДЦ). Некоторые из них на момент окончания строительства являлись самыми высокими в Европе, например 75-этажное здание Меркурий Сити Тауэр (2006 г.) высотой 339 м (рис. 4, “золотое” здание).

Показательно, что “при расчетной концентрации людей на территории комплекса ММДЦ ( $\approx 500\,000$  человек) плотность одновременно находящихся людей на небольшом пятчке площадью 40 га составит величину в 1 100 000 человек на 1 км<sup>2</sup>! Сегодня такой плотности одновременного нахождения людей на площади 1 км<sup>2</sup> нет нигде в мире!” [5]. При этом территория ММДЦ, находясь всего в 4–5 км от Кремля, имеет крайне низкий уровень транспортной инфраструктуры. Сегодня власти Москвы вынуждены вкладывать огромные финансовые ресурсы в развитие транспортной инфраструктуры и ограничивать высотность застройки.

Цель настоящей публикации ознакомить читателей с результатами анализа:

- необходимости использования лифтов для эвакуации людей при пожаре в высотном здании;
- последствий запрета противопожарными нормами использования лифтов для эвакуации;
- путей повышения противопожарной защиты людей в высотных зданиях.

Эта цель актуализируется в настоящее время разработкой сводов правил по проектированию и обеспечению противопожарной безопасности высотных зданий.

## Проблема безопасной эвакуации людей при пожаре в высотном здании

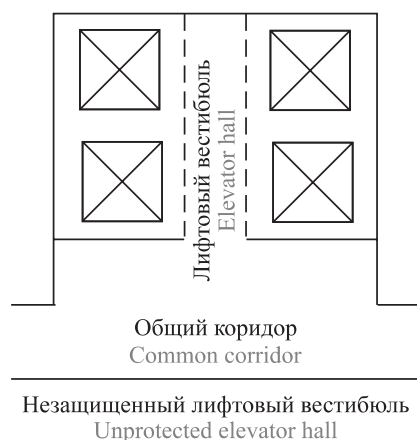
В период массового развития высотного строительства в СССР было обращено внимание на то, что в поисках целесообразного использования городской земли путем повышения высотности ее застройки, как и при спекулятивном использовании ее стоимости, игнорируются проблемы обеспечения безопасности эвакуации людей из высотных зданий при пожаре.

На существование этой проблемы указывалось еще в 30-е годы при исследованиях эвакуации людей из зданий массового назначения, которые проводились Институтом архитектуры Всесоюзной академии художеств [6]. Она была обозначена следующим образом. “Отдельную категорию по условиям массовой эвакуации представляют здания типа небоскребов, независимо от их назначения и от вместимости отдельных помещений. Этот тип зданий получил в последнее время столь широкое распространение в крупных населенных центрах, что вопросы эвакуации их не могут быть обойдены молчанием.

Возможность удобного пользования помещениями, расположенными на высоких уровнях, обусловлена механизацией сообщений внутри здания. Только при такой механизации возможна концентрированная группировка значительного числа помещений на малой площади. Вместе с тем, ввиду отсутствия уверенности в безотказном действии механизмов, становится рискованным основывать безопасность массовой эвакуации на одних только механизированных средствах сообщения, а требуется, помимо них, также наличие эвакуационных путей обычного типа. При ограниченных размерах и значительном числе этажей основным элементом этих путей служат лестницы — в количестве, по общему принципу безопасности, не менее двух, установленные так, чтобы частичное или полное задымление одной не распространялось на другую. Поэтому при наличии нескольких лестниц эвакуация рассчитывается при условии исключения из пользования одной лестничной клетки” [6, с. 62].

Следование этой концепции привело к тому, что во всем мире при эвакуации людей во время пожара в многоэтажных и тем более в высотных зданиях лифты были исключены из состава возможных путей эвакуации людей: согласно п. 6.24 [7] “эвакуационные пути не должны включать лифты, эскалаторы...”. На дверях выходов из номеров 4–5-звездочных высотных отелей Манхэттена или Чикаго и сегодня наклеены предупреждения о недопустимости пользования лифтами при пожаре.

Попадая в лифтовый холл (вестибюль) жильцы отеля воочию убеждаются в корректности такого



**Рис. 5.** Схема планировочного решения лифтового холла как уширения части общего коридора

**Fig. 5.** Layout of planning concept of the elevator hall as widening of a part of common corridor

предупреждения, поскольку видят, что лифтовые вестибюли являются лишь уширенной частью коридора, соединяющего все номера этажа (рис. 5). Становится понятно, что при пожаре в одном из них опасные факторы пожара (ОФП) быстро распространятся по коридору, устремляясь в лифтовые шахты, как в трубу, пронизывающую 30–40-этажное здание.

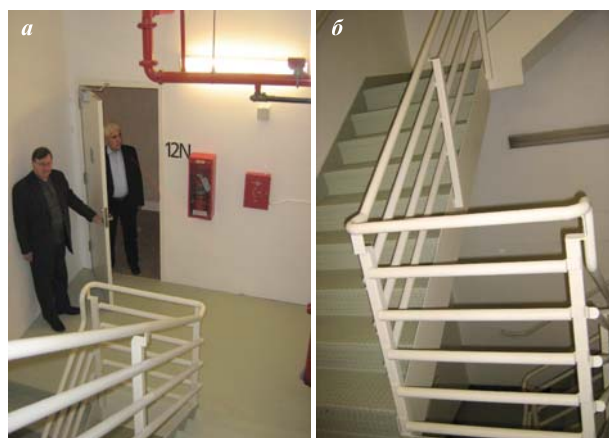
Учитывая естественную аэродинамику газовой смеси, отечественные нормативные документы рекомендовали использовать шахты лифтов в качестве дымоотводящих каналов как в жилых, так и в общественных зданиях: “В качестве дымоотводящих каналов могут быть использованы шахты лифтов...” [8].

Таким образом, для эвакуации людей в случае пожара оставались только лестничные клетки — “в количестве, по общему принципу безопасности, не менее двух” [6, с. 62]. Поэтому основное внимание проектировщиков было направлено на обеспечение незадымляемости лестничных клеток “в зданиях высотой 10 этажей и более”.

Любопытные могут поискать лестничные клетки (большинство работников офисов не знают, где находятся лестницы, поскольку никогда ими не пользуются). Самые настойчивые, предусмотрительные гости отеля могут найти одну из лестничных клеток (рис. 6). (Однако не стоит захлопывать дверь: она не открывается с внутренней стороны лестничной клетки.)

Что же происходит в незадымляемой лестничной клетке высотного здания при такой организации эвакуации людей?

Условия движения людских потоков в лестничной клетке при их одновременной эвакуации с этажей высотных зданий впервые удалось спрогнозировать в исследованиях, проведенных в 1967–1969 гг. [9], на основании установленных к тому времени



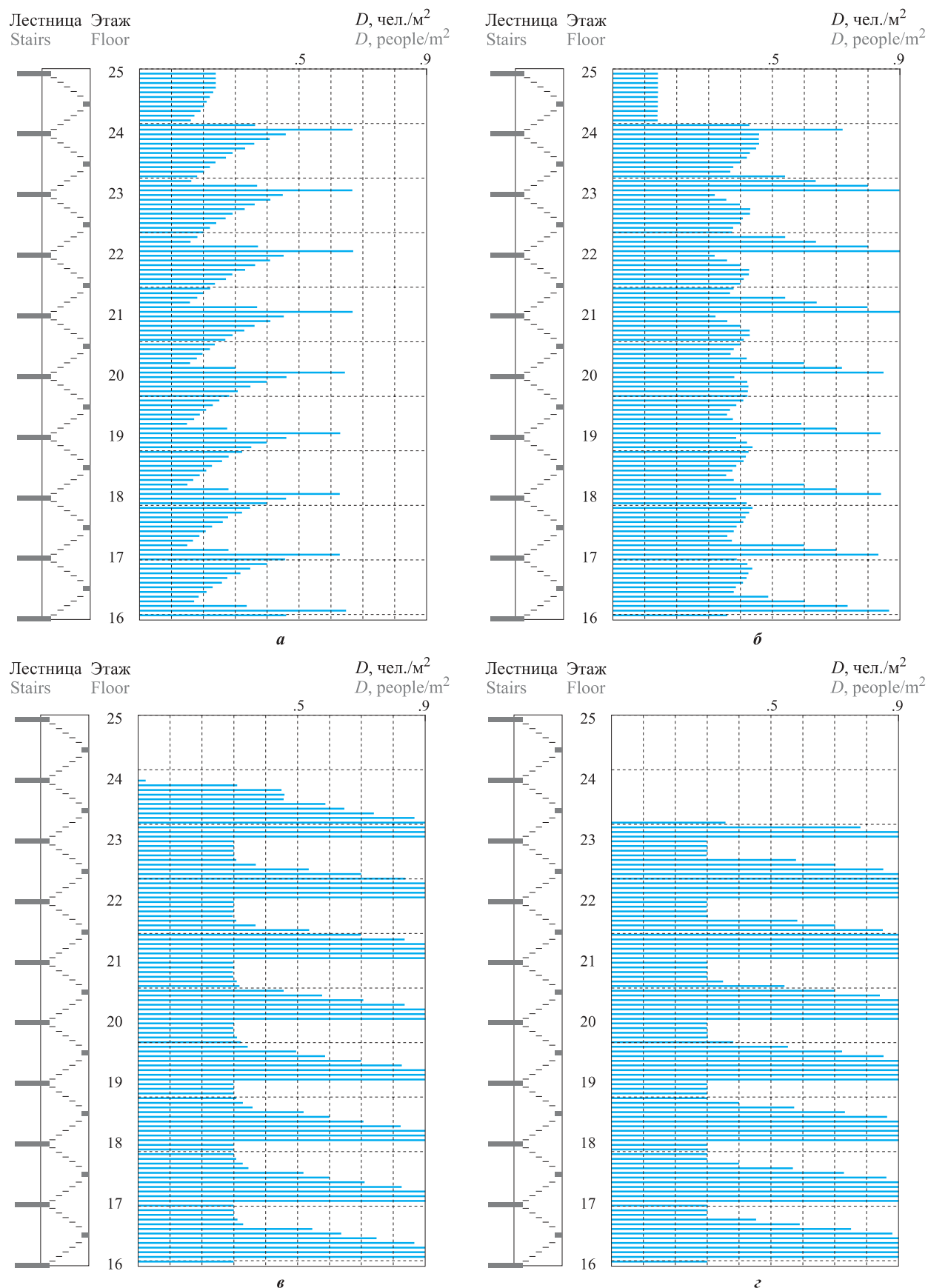
**Рис. 6.** Отель Wyndham (г. Чикаго): а — вход в незадымляемую лестничную клетку; б — металлическая лестница

**Fig. 6.** Hotel Wyndham (Chicago): а — entrance to smokeproof stairway; б — steel stairs

закономерностей изменения значений параметров людских потоков при переходе через смежные участки пути, при их слиянии и переформировании [10]. В этих исследованиях были проанализированы возможные планировочные решения основных рабочих и вспомогательных помещений, этажей офисных высотных зданий, их вертикальные коммуникации (включая лифты). На основании проведенного анализа были выявлены расчетные схемы эвакуации, общая структура которых напоминает гребенку, зубцами которой являются источники людских потоков. Из этих источников люди выходят на общий эвакуационный путь. Применительно к лестничным клеткам источниками являются этажи здания, общим эвакуационным путем — лестничная клетка.

Ограниченная ширина лестниц (1,05–1,35 м), большая величина людских потоков с этажей, их слияние и более низкая максимальная интенсивность движения по лестнице вниз, чем по горизонтальным путям и через проем, приводят к образованию в лестничных клетках многоэтажных зданий людских потоков с максимальной плотностью. Наглядное представление об изменениях плотности людского потока в лестничной клетке при одновременной эвакуации людей с этажа дают диаграммы, приведенные на рис. 7. В образующихся скоплениях людей с максимальной плотностью (7–8 чел./м<sup>2</sup>) возможно возникновение компрессионной асфиксии (отсутствие пульса, удушье, обусловленное кислородным голоданием и избытком углекислоты в крови и тканях при сдавливании дыхательных путей извне), затопывание упавших людей в образующихся свалках. Скорость движения потока при такой плотности снижается до 6–7 м/мин.

Описанный выше ход процесса подтверждается не только экспериментально [11–16], но и, к сожалению, практически, о чем наиболее ярко свидетельствуют отчеты [17, 18] по расследованию послед-



**Рис. 7.** Пример изменения плотности людского потока на лестницах при одновременной эвакуации людей с этажей через 0,5 мин (*a*), 1 мин (*б*), 1,5 мин (*в*) и 2 мин (*г*)

**Fig. 7.** Example of dynamics of a change of people flow density on stairs at simultaneous people evacuation from floors in 0.5 min (*a*), 1 min (*б*), 1.5 min (*в*) and 2 min (*г*)

ствий террористических актов 1993 и 2001 гг. во Всемирном торговом центре (ВТЦ) в Нью-Йорке.

В 1993 г., 26 февраля, в подземном гараже Северной башни был взорван грузовик с 680 кг взрывчатки. В результате взрыва в перекрытиях пяти подземных этажей образовалась дыра диаметром 30 м. По данным Википедии “шесть человек было убито (в том числе во время давки при выходе) и еще 50 000 рабочих и посетителей испытывали проблемы с дыханием из-за нехватки кислорода на 110 этажах башен. Многим людям, находившимся внутри Северной башни, пришлось спускаться вниз по темным лестницам”. Эвакуация продолжалась около 4 ч.

При эвакуации из ВТЦ в 2001 г. лифтами, которые функционировали до момента обрушения башен, сумели воспользоваться “более 3 тыс. человек” [18]. А вот воспоминание одного из участников эвакуации по лестнице: “... часть людей, и я вместе с ними, пошли по лестницам пожарного выхода. На лестницах было полно людей. На некоторых этажах сильно пахло дымом, гарью. Постепенно я перешел на бег. Вокруг все кричали, бежали, некоторые даже дрались и хватали за одежду. Лестницы тряслись, слышался нарастающий скрежет металла и бетона. Где-то со звоном вылетали окна. Я плохо помню, как добежал до нижнего этажа и выбежал из здания” [19, с. 143, 144].

Это говорит довольно молодой человек, который мог бежать по лестнице. А те, кто не мог бежать, “даже дрались и хватали за одежду”. Доля таких людей в будущем будет увеличиваться, поскольку ООН фиксирует рост доли пожилых людей в большинстве регионов мира, а возраст напрямую влияет на ухудшение физических, психических и неврологических функций [20, 21], ведущее к инвалидности<sup>4</sup>.

“Лестничные клетки были просто переполнены людьми. Многие люди не могли спуститься без поддержки пожарных и спасателей. Беременные женщины, пожилые люди, люди с сердечной недостаточностью, физически слабые — всем требовалась помощь. Пожарные несли людей, помещая их на офисные стулья, инвалидные коляски, эвакуационные стулья” [18]. Отечественными и зарубежными исследованиями [22–28] показано, что скорость спуска пожилых людей по лестнице (с посторонней помощью или без нее) может быть на 40–50 % ниже по сравнению со здоровыми взрослыми людьми.

<sup>4</sup> *Инвалид* — лицо, которое имеет нарушение здоровья со стойким расстройством функций организма, обусловленное заболеваниями, последствиями травм или дефектами, приводящее к ограничению жизнедеятельности и вызывающее необходимость его социальной защиты.

*Ограничение жизнедеятельности* — полная или частичная утрата лицом способности или возможности осуществлять самообслуживание, самостоятельно передвигаться, ориентироваться, общаться, контролировать свое поведение, обучаться и заниматься трудовой деятельностью.

Организацией Объединенных Наций 9 декабря 1971 г. принята “Декларация о правах инвалидов”, которая ратифицирована Российской Федерацией 10 мая 1998 г. По данным опубликованного в 2012 г. “Всемирного отчета об инвалидности” [29] в настоящее время в мире насчитывается около 1 млрд. инвалидов. (В Российской Федерации в настоящее время насчитывается около 13 млн. инвалидов, что составляет около 8,8 % населения страны, и более 40 млн. маломобильных граждан — 27,4 % населения [30, 31]). В современном мире к старению населения добавляется проблема ожирения людей всех возрастов с сопутствующими ему ограничениями подвижности [29, 32–34].

Следует отметить, что движение людей по лестницам оказывается достаточно опасным даже при эксплуатации зданий в нормальных условиях. Так, “по американским данным, в результате несчастных случаев на лестницах примерно 800 тысяч человек получают травмы и повреждения, требующие стационарного лечения. В США ежегодный ущерб от несчастных случаев на лестницах оценивается примерно в 2 млрд. долларов” [35].

### Что же следует из приведенных данных?

*Лифт, обеспечив людям всех возрастов и физических данных доступ на этажи зданий, подъем на которые превосходит их природные возможности, оказался для них приманкой в огненной ловушке высотного здания при пожаре — “сыром в мышеловке”.*

### Концепции обеспечения безопасности людей при эвакуации во время пожара в высотном здании

Ненормальность создавшейся ситуации требовала поиска выхода из нее. Он был указан в тех же исследованиях 70-х годов прошлого века [9]. Это:

- противопожарная защита лифтовых установок, прежде всего противодымная;
- организация поэтажных зон временной противопожарной безопасности, включающих транспортно-коммуникационный узел;
- организация поэтапной комбинированной эвакуации (пешеходная + использование лифтов).

Концепция необходимости использования лифтов для эвакуации людей на начальной стадии пожара в высотном здании была оперативно доведена до широкого круга отечественных [36–38] и зарубежных специалистов.

Одним из первых зарубежных откликов на новую концепцию можно считать слова *R. M. Patton* (из его статьи 1971 г. [39]): “Проведенные исследования показали, что, кроме опасности сердечных приступов, использование лестниц плохо еще и потому, что они не обеспечивают пропускную способ-

ность, необходимую для высотных зданий. Существующие нормы предписывают одинаковое число лестничных клеток как для 2-х, так и 102-этажных зданий. Официальная политика в области противопожарной защиты заключается в том, что в случае пожара для эвакуации людей должны быть использованы лестничные клетки, а не лифты. Каждый, кто спускался хотя бы раз в лифте, а также пешком по 50-этажной лестнице, может сказать, что правильным является обратное решение". Население высотных зданий за рубежом, похоже, давно "проголосовало" за использование лифтов для эвакуации: "...в многоэтажных зданиях лифты используются частью людей, а иногда и большинством, для эвакуации до тех пор, пока они действуют" [40]. Даже в 5-этажных зданиях до 15 % людей используют их для эвакуации при пожаре [41]. Результаты анкетного опроса в Японии показали, что до 67 % людей в 20-этажном здании с апартаментами использовали лифты для эвакуации при пожаре [42]. Причину такого поведения людей во многом объясняют данные опросов, показавших, что даже при свободном движении по лестнице люди испытывают усталость после 5 мин спуска, а при спуске приблизительно с 18-го этажа они "страдают от усталости" [43, 44].

За рубежом предложение об использовании лифтов при пожаре впервые было высказано *V. Bazjanac* в 1974 г. [45]. Позже Национальной противопожарной ассоциацией (National Fire Protection Association) NFPA (США) был разработан подробный список проблем, связанных с возможностью использования лифтов при пожаре [46]. В 1992 и 1995 гг. за рубежом были проведены две представительные конференции, посвященные решению проблемы использования лифтов при пожаре [47, 48]. За предшествующие им три десятилетия за рубежом было написано большое количество работ по этой проблеме (список работ, который был представлен NIST<sup>5</sup> при оценке возможности использования лифта, имеется в свободном доступе в интернете).

Для разработки технических требований, создающих возможности для использования лифтов при чрезвычайных ситуациях (ЧС) персоналом здания и пожарными, в марте 2004 г. совместными решениями ASME<sup>6</sup>, NIST, NFPA, ICC<sup>7</sup> и IAFF<sup>8</sup> была создана

специальная группа специалистов. Результатом ее работы можно считать то, что в зарубежных странах использование лифта при пожаре сегодня уже стало нормой, определяемой нормативными документами в США [46, 49], Великобритании [50] и в мировом сообществе в целом [51]. В BS 9999:2008 [50], а вслед за ним и в ISO/TR 25743:2010 введено понятие "эвакуационный лифт", а также регламентированы требования к конструктивному решению такого лифта и организации его использования.

В результате целенаправленной совместной работы *зарубежные специалисты пришли к выводу, что в высотном здании лифт является основным средством эвакуации людей, а лестницы имеют вспомогательное значение*. Таково общее решение международной конференции "Высотное строительство" [52], прошедшей в г. Дубаи, на родине самого высокого на сегодня здания Бурдж-Халифа (828 м). Достижение эффективности эвакуации людей при пожаре обеспечивается за счет увеличения скорости лифтов и рационализации системы их функционирования. Известно, что два самых скоростных лифта вместимостью по 24 чел. (а всего в здании 61 лифт и 50 эскалаторов) установлены в здании Taipei 101 в столице Тайваня: они развивают скорость 16,83 м/с.

В отличие от таких совместных действий организаций различной юридической подчиненности, каждая из которых была по-своему заинтересована в создании условий возможности использования лифтов для эвакуации людей при пожаре, в СССР, а затем в России органы, ответственные за противопожарную защиту людей и строительство, на протяжении этих лет не проводили подобных мероприятий, координирующих деятельность организаций, способных внести ясность в решение этой проблемы. Различные аспекты этой проблемы решались фактически усилиями отдельных энтузиастов, которые полученными результатами эпизодически будоражили информационное поле нормотворческих организаций [53–60]. Благодаря этому руководящие организациями чиновники вспоминали об имеющихся результатах, как говорят в народе, "когда приспичит". Такие ситуации возникали дважды.

В первый раз это случилось при разработке СНиП 35-01-2000 [61]. В результате впервые в истории нормирования в нашей стране в этот документ вошли следующие пункты, обеспечивающие возможность использования лифтов для эвакуации людей при пожаре:

"3.43. Число лифтов, необходимых для эвакуации и спасения инвалидов, неспособных к эвакуации по лестницам, устанавливается согласно обязательному приложению В.

3.44. Если по проекту невозможно обеспечить эвакуацию МГН в расчетное время, то для их спасения необходимо предусматривать пожаробезопасную

<sup>5</sup> NIST (The National Institute of Standards and Technology) — Национальный институт стандартов и технологий США, подразделение Управления по технологиям Министерства торговли США; с 1901 по 1988 гг. назывался Национальным бюро стандартов США.

<sup>6</sup> ASME (The American Society of Mechanical Engineers) — Американское общество инженеров механиков.

<sup>7</sup> ICC (International Chamber of Commerce) — Международная торговая палата (МТП).

<sup>8</sup> IAFF (International Association of Fire Fighters) — профсоюз, представляющий профессиональных пожарных и персонал скорой медицинской помощи в Соединенных Штатах и Канаде.

зону, из которой они могут эвакуироваться более продолжительное время или находиться до прибытия спасательных подразделений.”

“3.46. Пожаробезопасные зоны следует предусматривать вблизи вертикальных коммуникаций или проектировать их как единый узел с выходом в лестничную клетку типа Н1.”

“3.49. Для спасения МГН из пожаробезопасной зоны следует использовать лифты, оснащенные системами управления и противодымной защиты, соответствующие требованиям НПБ 250–97.

В шахтах лифтов, имеющих выходы в пожаробезопасную зону, должен быть создан подпор воздуха, соответствующий требованиям СНиП 2.04.05.

**Таблица 1.** Сопоставление уровней обеспечения пожарной безопасности лестничных клеток Н2 и лифтовых установок  
**Table 1.** Comparison of fire-safety ensurance levels of staircases Н2 and elevator units

| Конструктивные и инженерные решения<br>Construction and engineering solutions                                         | Лестничная клетка<br>Staircase  |                                                                                                                                                      | Лифтовые установки<br>Elevator units                                                                  |                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                       | Характеристика<br>Specification | Нормативные документы<br>Regulating documents                                                                                                        | Характеристика<br>Specification                                                                       | Нормативные документы<br>Regulating documents                                                                                                        |
| Несущие конструкции<br>Load-bearing structures                                                                        | REI 180                         | МГСН 4.19, п. 4.24<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 4.24                                                                                 | —                                                                                                     | —                                                                                                                                                    |
| Конструкции шахт лифтов<br>Constructions of elevator shafts                                                           | —                               | —                                                                                                                                                    | REI 120, 180                                                                                          | МГСН 4.19, п. 4.24<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 4.24                                                                                 |
| Площадки, косяки, марши<br>Stairs landings, notch-boards, flights                                                     | R 60                            | МГСН 4.19, п. 4.24<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 4.24                                                                                 | —                                                                                                     | —                                                                                                                                                    |
| Внутренние несущие конструкции<br>Internal non-bearing structures                                                     | —                               | —                                                                                                                                                    | EI 60, 120                                                                                            | МГСН 4.19, п. 4.24<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 4.24                                                                                 |
| Двери<br>Doors                                                                                                        | 60, 90                          | МГСН 4.19, п. 4.29<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 4.29                                                                                 | EI 60, 90<br>противопожарные, дымогазо- непроницаемые<br>EI 60, 90<br>fire-proof, smoke-and-gas tight | МГСН 4.19, п. 4.29;<br>СНиП 21.01, п. 8.10<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 4.29;<br>Construction rules and regulations 21.01, par. 8.10 |
| Системы приточной противодымной защиты, подпор воздуха<br>Systems of inflow smoke protection, space air over-pressure | Н2                              | СНиП 21.01, п. 5.15;<br>МГСН 4.19, п. 4.24<br>Construction rules and regulations 21.01, par. 5.15;<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 4.24 | Шахты<br>Shafts                                                                                       | СНиП 21.01, п. 8.15б<br>Construction rules and regulations 21.01, par. 8.15b                                                                         |
|                                                                                                                       |                                 |                                                                                                                                                      | Холлы<br>Halls                                                                                        | МГСН 4.19, пп. 14.58, 14.60<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 14.58, 14.60                                                                |
| Адресные дымовые извещатели<br>Address smoke detector                                                                 | Да<br>Yes                       | —                                                                                                                                                    | Да<br>Yes                                                                                             | МГСН 4.19, п. 13.2.43<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 13.2.43                                                                           |
| Системы чрезвычайной оперативной телефонной связи<br>Extraordinary operative phone communication systems              | —                               | —                                                                                                                                                    | Лифты, холлы<br>Elevators, halls                                                                      | МГСН 4.19, п. 13.2.51<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 13.2.51                                                                           |
| Материалы отделки полов<br>Materials for floor finish                                                                 | Негорючие<br>Non-combustible    | МГСН 4.19, п. 14.33<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 14.33                                                                               | Негорючие<br>Non-combustible                                                                          | МГСН 4.19, п. 14.70<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 14.70                                                                               |
| Система пожарной сигнализации<br>Fire-alarm system                                                                    | —                               | —                                                                                                                                                    | Холлы, шахты<br>Halls, shafts                                                                         | МГСН 4.19, п. 13.2.40<br>Moscow city construction norms 4.19, par. 13.2.40                                                                           |

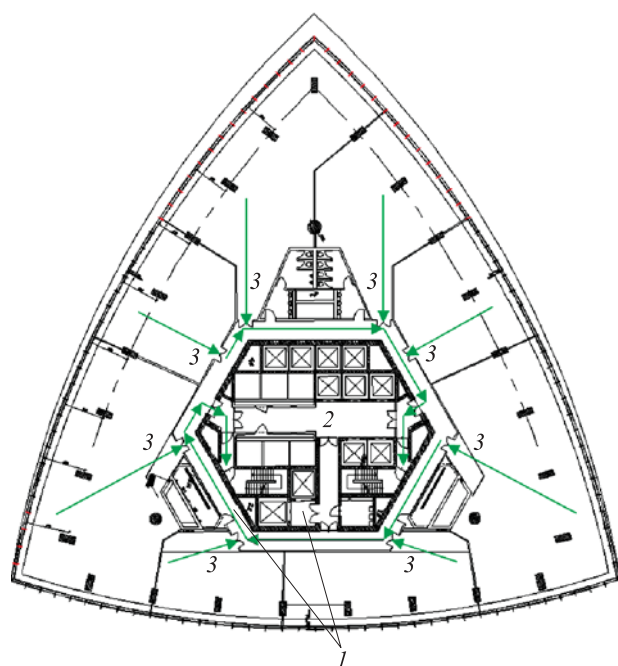
3.50. ...Пожаробезопасная зона должна быть незадымляемой. При пожаре в ней должно создаваться избыточное давление 20 Па при одной открытой двери эвакуационного выхода.”

Вторично подобная ситуация создалась при разработке МГСН 4.19–2005 [62]. Здесь ситуация касалась уже не только МГН, а более широкого круга людей [30].

В МГСН 4.19–2005 [62] уровень противопожарной защиты лифтовых установок был установлен идентичным уровню защиты незадымляемых лестничных клеток типа Н2 (табл. 1).

В связи с этим МГСН 4.19–2005 (п.16.2.2) предоставляли широкие и обоснованные возможности для оптимизации проектных решений по обеспечению безопасности людей при их эвакуации из высотных зданий: “Структура и размеры эвакуационных путей и выходов должны обеспечивать беспрепятственную и своевременную, полную или частичную, одновременную или поэтапную, пешеходную или при помощи лифтов, в зависимости от типа чрезвычайной ситуации, эвакуацию людей из любой части высотного здания независимо от возраста и физического состояния людей” [62].

Эффективность использования лифтов в целях уменьшения расчетного времени эвакуации можно



**Рис. 8.** Пример исполнения транспортно-коммуникационного узла при организации эвакуации людей с 35-го этажа башни Б комплекса “Федерация”: 1 — лестничные клетки; 2 — лифтовой холл (зона безопасности); 3 — тамбур-шлюз с подпором воздуха при пожаре

**Fig. 8.** Example of the execution of a transport and communication hub in the organization of evacuation of people from the 35<sup>th</sup> floor of the Tower B of the Federation complex: 1 — staircases; 2 — elevator hall (security zone); 3 — through space between the doors with air support in case of fire

**Таблица 2.** Результаты моделирования вариантов организации эвакуации

**Table 2.** Simulation results of evacuation arrangement variants

| Вид эвакуации<br>Evacuation type                                        | Максимальная плотность, чел./м <sup>2</sup><br>Maximal density, people/m <sup>2</sup> | Время эвакуации, мин<br>Evacuation time, min |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Одновременная<br>Simultaneous                                           | 9                                                                                     | 80                                           |
| Поэтапная пешеходная<br>Step-by-step pedestrian                         | 3                                                                                     | 42                                           |
| Поэтапная с использованием лифтов<br>Step-by-step with use of elevators | 3                                                                                     | 24                                           |

оценить на примере проведенного численного моделирования эвакуации из здания восточной башни комплекса “Федерация” (101 этаж, высота 374 м) в ММДЦ “Москва-Сити” (рис. 8), результаты которого приведены в табл. 2 [63].

Отметим, что моделирование таких же вариантов эвакуации из 88-этажных зданий-близнецов в г. Куало-Лумпур (столица Малайзии) показало [64] идентичный характер соотношения между значениями времени окончания эвакуации (рис. 9).

Таким образом, МГСН 4.19–2005 [62] не только гармонизировали принципы отечественного противопожарного нормирования с зарубежными подходами, но и создали предпосылки для обеспечения возможности эвакуировать маломобильные группы населения.



**Рис. 9.** Время эвакуации людей из высотного здания (*Twin towers Petronas*) в зависимости от сценария эвакуации: 1 — пешеходная эвакуация по лестничным клеткам; 2 — эвакуация всех людей с помощью лифтов; 3 — комбинированная эвакуация с помощью лифтов (65 %) и по лестничным клеткам [64]

**Fig. 9.** Time of people evacuation from a high-rise building (*Twin towers Petronas*) depending on evacuation scenario: 1 — foot evacuation through stairways; 2 — evacuation of all people using elevators; 3 — combined evacuation using elevators (65 %) and through stairways [64]

В период действия МГСН 4.19–2005 был утвержден Федеральный закон № 123 “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [65], который реализовал первоочередную цель технического регулирования [66, ст. 6], а именно “защиту жизни и здоровья граждан”. Данный документ требует рассчитывать индивидуальный пожарный риск, который должен выполняться в соответствии с Методикой [67]. Однако редакция Методики [67], утвержденная приказом МЧС России от 30.06.2009 г. № 382, не содержала расчетных значений параметров людских потоков, состоящих из детей дошкольного возраста и пожилых людей с различными возможностями передвижения. В то время они были неизвестны в мировой практике [68]. Используя возможность эвакуации этих групп людей при помощи лифтов, МГСН 4.19–2005 [62] компенсировали выявившийся недостаток знаний. (Эти значения были установлены позже в результате работ [22–25, 69–71] и вошли дополнительно в редакцию Методики от 02.12.2015 г.)

Однако органы противопожарного надзора отказывались визировать проекты высотных зданий, предусматривающие эвакуацию людей с использованием лифтов, мотивируя это тем, что согласно документу федерального уровня — СНиП 21-01-97\* [7] “эвакуационные пути не должны включать лифты”.

### **Что же имеется в федеральных документах по пожарной безопасности людей в настоящее время?**

Ст. 89 “Требования пожарной безопасности к эвакуационным путям, эвакуационным и аварийным выходам” ФЗ № 123 [65] содержит следующие пункты.

“14. Эвакуационные пути (за исключением эвакуационных путей подземных сооружений метрополитена, горнодобывающих предприятий, шахт) не должны включать лифты и эскалаторы...”

15. Для эвакуации со всех этажей зданий групп населения с ограниченными возможностями передвижения допускается предусматривать на этажах вблизи лифтов, предназначенных для групп населения с ограниченными возможностями передвижения, и (или) на лестничных клетках устройство безопасных зон, в которых они могут находиться до прибытия спасательных подразделений. При этом к указанным лифтам предъявляются такие же требования, как к лифтам для транспортировки подразделений пожарной охраны. Такие лифты могут использоваться для спасения групп населения с ограниченными возможностями передвижения во время пожара”.

Противоречивость этих двух пунктов вызывает вопрос, когда же можно, а когда нельзя использо-

вать лифт для эвакуации при пожаре и почему, поскольку принципиальное различие между пассажирским лифтом и лифтом для перевозки пожарных подразделений обнаруживается лишь в алгоритме системы их управления [72]. При получении сигнала “пожарная опасность” все кабины лифтов принудительно спускаются на основной посадочный этаж, где они и остаются с открытыми дверями. Включение же режима “перевозка пожарных подразделений” должно производиться при помощи специального ключа, который вставляется в гнездо, расположенное на панели управления или рядом с ней [72, п. 6.6.1].

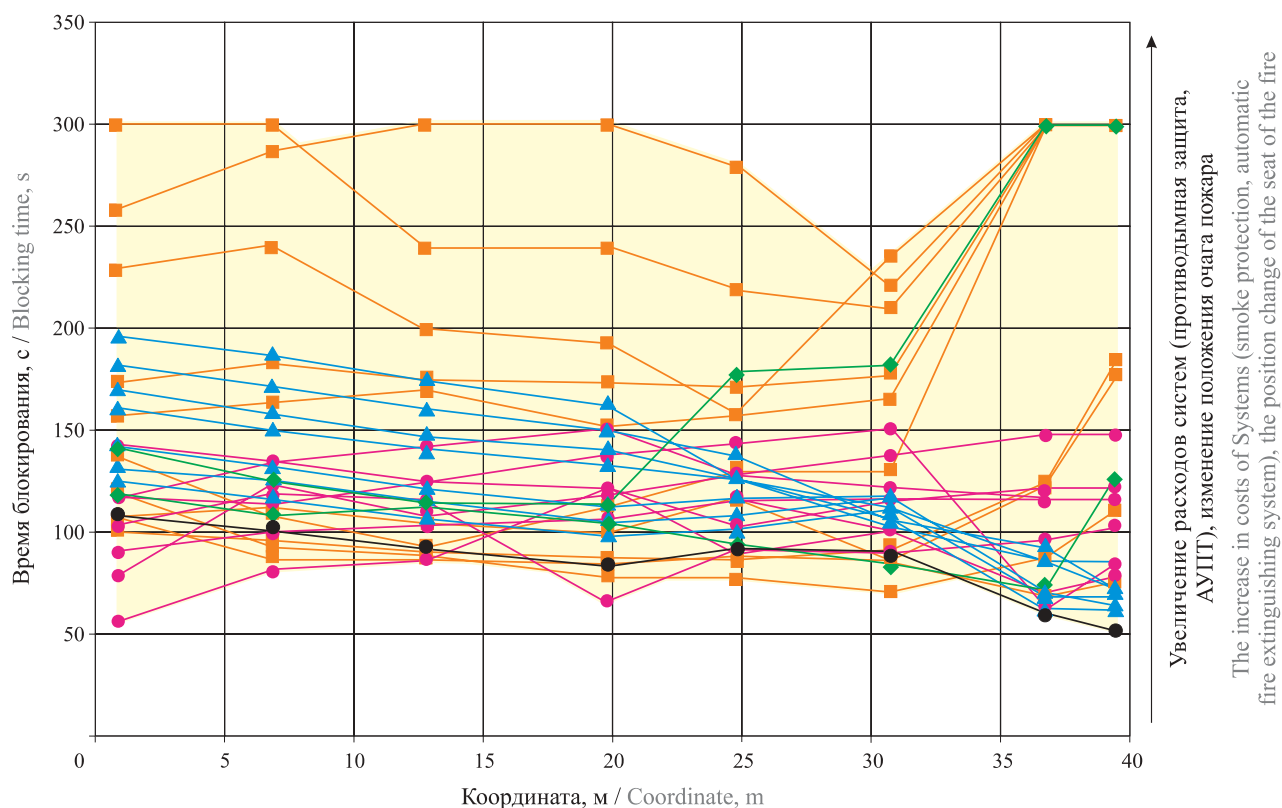
Такой вопрос и был задан на заседании круглого стола “Проектирование и создание доступной среды” 7-й Международной специализированной выставки “Реабилитация. Доступная среда 2017”, организованной ООО “Инва Экспо” 9–11 ноября 2017 г. в Сокольниках государственному эксперту по пожарной безопасности И. С. Кудрину после его доклада “Нарушения прав маломобильных групп населения, выявляемые при государственной экспертизе проектной документации”. Он объяснил истолкование этой двойственности, бытующее в органах пожарного надзора. Ее суть состоит в том, что в п. 14 ст. 89 ФЗ № 123 [65] речь идет об эвакуации, а в п. 15 — о спасении людей. Такое глубокомыслие заставляет обратиться к терминологии, к определению этих двух понятий, лишаящих людей права использовать защищенные от воздействий опасных факторов пожара лифтовые установки для сохранения своей жизни и здоровья.

### **Терминология**

“Эвакуация — процесс организованного самостоятельного движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону из помещений, в которых имеется возможность воздействия на людей опасных факторов пожара” [65, ст. 2, п. 50].

“Спасение представляет собой вынужденное перемещение людей наружу при воздействии на них опасных факторов пожара или при возникновении непосредственной угрозы этого воздействия. Спасение осуществляется самостоятельно, с помощью пожарных подразделений или специально обученного персонала, в том числе с использованием спасательных средств, через эвакуационные и аварийные выходы” [73, п. 4.1.2].

Итак, имеем: эвакуация — процесс движения людей, спасение — перемещение людей. Различие только в словах, выражающих один и тот же смысл реального явления — передвижения людей, если оно осуществляется самостоятельно. А это возможно, как видим, и при эвакуации, и при спасении. Когда оно осуществляется? При эвакуации: когда “имеет-



**Рис. 10.** Область возможных решений по выбору систем пожарной безопасности [12]: ● — без систем противопожарной защиты; ● — изменение расположения помещения очага пожара и клапана дымоудаления; ■ — изменение расхода воздуха через клапан дымоудаления; ▲ — изменение расхода воды системы пожаротушения (дренчерная завеса); ◆ — изменение расхода воздуха через клапан дымоудаления и расхода дренчерной системы пожаротушения (дренчерная завеса)

**Fig. 10.** Field of possible solutions for selection of fire safety systems [12]: ● — without fire protection systems; ● — change the location of the premises of fire origin and smoke control valve; ■ — changing the flow of air through smoke control valve; ▲ — changing the water consumption of the fire-extinguishing system (deluge curtain); ◆ — changing the flow of air through smoke control valve and consumption of deluge fire extinguishing system (deluge curtain)

ся возможность воздействия” ОФП, а при спасении — “при возникновении непосредственной угрозы этого воздействия”, т. е. различие состоит в том, что в одном случае “имеется возможность”, а в другом — “при возникновении непосредственной угрозы”. Поскольку понятие “возможность воздействия” уже подразумевает существование угрозы воздействия, то различие в этих двух выражениях может заключаться только в оценке величины вероятности воздействия ОФП  $P(t_{нб})$  — на людей в разных ситуациях.

Для этого Методика [67] использует оценку по формуле (4):  $P(t_{э,i}) \leq P(t_{нб})$ . При  $t_{эв} = t_p + t_{нэ} \leq 0,8t_{нб}$  и  $t_{ск} \leq 6$  мин (где  $t_{эв}$  — время эвакуации;  $t_p$  — расчетное время движения людей до эвакуационного выхода с этажа;  $t_{нэ}$  — время начала эвакуации людей;  $t_{ск}$  — продолжительность существования скопления людей) безопасность эвакуации обеспечивается с вероятностью  $P(t_{э,i}) = 0,999$ . При  $t_p \geq 0,8t_{нб}$  или  $t_{ск} > 6$  мин —  $P(t_{э,i}) = 0$ , т. е. люди подвергаются воздействию критических уровней ОФП. Эти соотношения и определяют количественно те словесные описания условий, которые используются в терми-

нологических характеристиках эвакуации и спасения. Применение современных программно-вычислительных комплексов моделирования распространения ОФП позволяет получить наглядную оценку (рис. 10) времени блокирования  $t_{бл}$  ( $t_{бл} = 0,8t_{нб}$ ) участков путей эвакуации в коридоре высотного офисного здания [12] при различных вариантах функционирования автоматических систем противопожарной защиты (75 сценариев численного моделирования).

Нижняя, незатененная, часть этого рисунка показывает ту область значений  $t_{нб}$  (вертикальная ось) для каждого участка (горизонтальная ось) коридора этажа, в которую должны попасть значения  $t_{эв}$ , включающие в себя время начала эвакуации людей  $t_{нэ}$  и расчетное время их движения до эвакуационного выхода с этажа  $t_p$ . Как видно, значения  $0,8t_{нб}$  определяют весьма узкую область (от 40 до 60 с) для соблюдения условия:  $t_p + t_{нэ} \leq 0,8t_{нб}$ . При  $t_{нэ} \geq 30$  с (что неизбежно как в жилых, так и в общественных зданиях) при эвакуации постоянно существует непосредственная угроза воздействия на людей опас-

ных факторов пожара. При  $t_{3,i} = t_{\text{нб}}$  эвакуация будет происходить при воздействии на людей опасных факторов пожара. В этих условиях, “как показывают опыты, видимость при пожаре в межквартирном коридоре близка к нулю, а температура у пола достигает 70–80 °С” [74, с. 5].

Следовательно, при невыполнении требований ст. 8 [75] по “ограничению образования и распространения опасных факторов пожара в пределах очага пожара” и ст. 61 [65], согласно которой “автоматические установки пожаротушения должны обеспечивать... ликвидацию пожара в помещении до возникновения критических значений опасных факторов пожара”, эвакуация “представляет собой вынужденное перемещение людей наружу”, осуществляемое самостоятельно. В этих условиях, как видно из данных рис. 9, эвакуация представляет собой спасение людей, осуществляемое самостоятельно. Так почему же при этом требования п. 14 ст. 89 ФЗ № 123 [65] лишают эвакуирующихся людей возможности пользоваться лифтовыми установками, имеющими защиту от пожара, идентичную защите, которая присуща незадымляемым лестничным клеткам типа Н2 и Н3?

Выявившиеся софизм<sup>9</sup> и казуистика<sup>10</sup> требований пп. 14 и 15 ст. 89 в ФЗ № 123 [65] на протяжении десятилетий являются препятствием объективно необходимого использования лифтов для эвакуации людей из высотных зданий при пожаре и определяют профессиональную идеологию разработчиков СП 267.1325800.2016 [76] и проекта СП “Здания и комплексы высотные. Противопожарные требования”, которые должны разъяснять [77] их необъяснимые положения.

Разработчики этих сводов правил настолько усердствовали в своем рвении пропагандировать эти исходные положения ФЗ № 123 [65], что исключили возможность использования лифтов при эвакуации даже в непожароопасных ситуациях [76, п. 14.18]. При этом они не приводят значений расчетных зависимостей между параметрами людских потоков для этих ситуаций, которые будут, как известно [78], гораздо ниже значений, прогнозируемых во время эвакуации людей при пожаре. Следовательно, про-

должительность таких превентивных пешеходных эвакуаций, например, при приближении угрозы природного катаклизма [75, ст. 9] будет значительно превосходить значение  $t_{3,i}$  при пожаре и может оказаться больше интервала времени между моментом предупреждения о надвигающейся катастрофе и ее наступлением. В результате безопасность людей не будет обеспечена. В связи с этим указания разработчиков СП [76]: “для обеспечения беспрепятственной своевременной эвакуации необходимо проводить расчеты вариантов эвакуации из высотного здания” [76, п. 14.19] и “результаты расчетов вариантов эвакуации следует использовать для назначения живучести инженерных систем и систем обеспечения безопасности в ЧС” [76, п. 14.20] — остаются лишь благими пожеланиями, не подкрепленными фактическими данными.

### Выводы

1. История показывает, что высотное градостроительство — социальное явление, обусловленное концентрацией деловой и общественной активности в крупнейших и крупных городах.

2. Возможности повседневной эксплуатации современного высотного здания определяются установками безопасного электрического лифта. Однако такой лифт становится проводником опасных факторов пожара, а имеющиеся в здании лестничные клетки не дают возможности обеспечить безопасность эвакуации при пожаре находящихся в нем тысяч людей, так как при эвакуации образуются скопления с максимальной плотностью людских потоков (8–9 чел./м<sup>2</sup>), сопровождающиеся физическим травматизмом людей, и, как следствие, она продолжается несколько часов.

3. Решение проблемы было найдено в нашей стране еще в 1969 г. Оно заключается в организации поэтапной комбинированной эвакуации с использованием лифтовых установок, защищенных от воздействия ОФП. Такое решение позволяет сократить время эвакуации людей в 3–4 раза и обеспечить их беспрепятственное движение. В настоящее время это решение применяется во всех зарубежных странах, а лифты считаются основным средством эвакуации. В нашей же стране такому решению препятствуют архаичные требования противопожарного нормирования, запрещающие использовать лифты для эвакуации при пожаре. Однако признание Государственной программой “Доступная среда” [30] 35 % населения страны инвалидами и людьми с ограниченными возможностями передвижения вынудило ввести в противопожарное нормирование пункт, допускающий использование для их спасения лифтов, предназначенных для транспортирования пожарных подразделений.

<sup>9</sup> Софизм (греч. *sophisma* — хитрая уловка, измышление) — рассуждение, кажущееся правильным, но содержащее скрытую логическую ошибку и служащее для придания видимости истинности ложному утверждению.

<sup>10</sup> Казуистика (англ. *casuistry*) — учение средневековых схоластов о примирении со своей совестью при столкновении разных норм и обязанностей. Позднее это учение нашло яркое развитие и практическое применение у иезуитов, оправдывавших безнравственные и преступные деяния, например, на основе принципа “цель оправдывает средства”. В переносном смысле — изворотливость в доказательстве сомнительных положений; крютотворство (Психологический словарь).

4. Анализ терминов “эвакуация” и “спасение” показывает идентичность их сути. В связи с этим запрещение использования лифтовых установок для эвакуации при пожаре является анахронизмом отечественного пожарного нормирования и должно быть устранено, как противоречащее прогрессу технических решений по обеспечению безопасности людей в высотных зданиях и препятствующее достижению ими безопасной зоны.

5. Прогресс технических решений по обеспечению безопасности людей в высотных зданиях, которому должны содействовать разрабатываемые

сводо правил по проектированию и пожарной безопасности высотных зданий, в настоящее время состоит:

- в повышении надежности и эффективности автоматических систем пожаротушения и противопожарной защиты, способных ограничить распространение пожара помещением очага его возникновения;
- в использовании лифтов для организации беспрепятственной и максимально быстрой эвакуации людей независимо от их возраста и физического состояния.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wright F. L.* The future of architecture. — New York : Horizon Press, 1953. — 326 p.
2. *Иконников А. В.* Нью-Йорк. — Л. : Стройиздат, 1980. — 96 с.
3. *Дыховичный Ю. А.* На новом техническом уровне // Архитектура и строительство Москвы. — 1964. — № 12.
4. Общие положения к техническим требованиям по проектированию жилых зданий высотой более 75 метров : приказ Москомархитектуры от 17.05.2002 № 101. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200030075> (дата обращения: 20.12.2017).
5. *Степанов О. П., Нестеренко В. М.* Актуальные проблемы обеспечения безопасности и антитеррористической защищенности Московского международного делового центра “Москва-Сити” / Комплексное обеспечение безопасности и антитеррористической защищенности высотных зданий и уникальных сооружений г. Москвы : материалы Московской городской научно-практической конференции (21–22 марта 2007 г., г. Москва) // Глобальная безопасность. — 2007. — Спецвыпуск. — С. 64–67.
6. *Беляев С. В.* Эвакуация зданий массового назначения. — М. : Всесоюзная академия архитектуры, 1938. — 72 с.
7. СНиП 21-01-97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений (ред. 19.07.2002). URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (дата обращения: 20.12.2017).
8. СН 295–64. Временные указания по противопожарным требованиям для проектирования жилых зданий высотой 10 этажей и более (для применения в экспериментальном проектировании и строительстве). — М. : Стройиздат, 1965. — 13 с.
9. *Холицевников В. В.* Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания : дис. ... канд. техн. наук. — М., 1969. — 251 с.
10. *Предтеченский В. М.* О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. — 1958. — № 7.
11. *Холицевников В. В., Кудрин И. С.* Экспериментальные исследования людских потоков в лестничной клетке многоэтажного здания // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 43–60.
12. *Кудрин И. С.* Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2013. — 190 с.
13. *Kholshchevnikov V. V.* Experimental researches of human flow in staircases of high-rise buildings // International Journal of Applied Engineering Research. — 2015. — Vol. 10, No. 21. — P. 42549–42552.
14. *Lizhong Yang, Ping Rao, Kongjin Zhu, Shaobo Liu, Xin Zhan.* Observation study of pedestrian flow on staircases with different dimensions under normal and emergency conditions // Safety Science. — 2012. — Vol. 50, Issue 5. — P. 1173–1179. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.12.026.
15. *Hoskins B. L., Milke J. A.* Differences in measurement methods for travel distance and area for estimates of occupant speed on stairs // Fire Safety Journal. — 2012. — Vol. 48. — P. 49–57. DOI: 10.1016/j.fire-saf.2011.12.009.
16. *Boyce K. E., Purser D. A., Shields T. J.* Experimental studies to investigate merging behaviour in a staircase // Fire and Materials. — 2011. — Vol. 36, Issue 5–6. — P. 383–398. DOI: 10.1002/fam.1091.
17. *Sunder S. S., Gann R. G., Grosshandler W. L., Lew H. S., Bukowski R. W., Sadek F., Gayle F. W., Gross J. L., McAllister T. P., Averill J. D., Lawson J. R., Nelson H. E., Cauffman S. A.* Final report on the collapse of the World Trade Center towers. NIST NCSTAR 1, WTC Investigation. — Washington, U. S. Department of Commerce, 2005. — 248 p. DOI: 10.6028/nist.ncstar.1.

18. The World Trade Center Bombing: Report and Analysis. — Emmitsburg, Maryland : US Fire Administration, Department of Homeland Security, 1993 (retrieved 2011). — P. 10–25.
19. Почечин Л. Г. Социальная психология толпы. — СПб. : Речь, 2004. — 240 с.
20. Reeves N. D., Spanjaard M., Mohagheghi A. A., Baltzopoulos V., Maganaris C. N. The demands of stair descent relative to maximum capacities in elderly and young adults // *Journal of Electromyography and Kinesiology*. — 2008. — Vol. 18, Issue 2. — P. 218–227. DOI: 10.1016/j.jelekin.2007.06.003.
21. Kang H. G., Dingwell J. B. Effects of walking speed, strength and range of motion on gait stability in healthy older adults // *Journal of Biomechanics*. — 2008. — Vol. 41, Issue 14. — P. 2899–2905. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2008.08.002.
22. Samoshin D. A., Istratov R. N. The parameters of pedestrian flows in hospital during fire evacuation // *Interflam 2013: Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference (24–26 June 2013, Royal Holloway College, University of London, UK)*. — Greenwich, London : Interscience Communications, Ltd., 2013. — P. 1003–1012.
23. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Istratov R. N. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire // *Human Behaviour in Fire : Proceedings of 5<sup>th</sup> International Symposium*. — Cambridge, UK, 2012. — P. 587–593.
24. Истратов Р. Н. Исследование возможностей спасения при пожаре немобильных людей из стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 54–63.
25. Истратов Р. Н. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в стационарах социальных учреждений по обслуживанию граждан пожилого возраста : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2014. — 160 с.
26. Ando K., Ota H., Oki T. Forecasting the flow of people // *Railway Research Review*. — 1988. — Vol. 45, No. 2. — P. 8–14 (in Japanese).
27. Fujiyama T., Tyler T. Free walking speeds on stairs: effects of stair gradients and obesity of pedestrians // *Pedestrian and Evacuation Dynamics / Peacock R., Kuligowski E., Averill J. (eds.)*. — Boston, MA : Springer, 2011. — P. 95–105. DOI: 10.1007/978-1-4419-9725-8\_9.
28. Kuligowski E. D., Peacock R. D., Reneke P. A., Wiess E., Hagwood C. R., Overholt K. J., Elkin R. P., Averill J. D., Ronchi E., Hoskins B. L., Spearpoint M. Movement on stairs during building evacuations / *NIST Technical Note 1839*. — Washington, U. S. Department of Commerce, 2015. DOI: 10.6028/NIST.TN.1839.
29. OECD. Obesity Update 2012. URL: <http://www.oecd.org/health/49716427.pdf> (дата обращения: 04.12.2017).
30. Государственная программа Российской Федерации “Доступная среда” на 2011–2020 годы : постановление Правительства Российской Федерации от 01.12.2015 № 1297 (ред. от 09.11.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/420319730> (дата обращения: 20.12.2017).
31. О социальной защите инвалидов в Российской Федерации : Федер. закон от 24.11.1995 № 181-ФЗ (ред. от 29.12.2017). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_8559/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8559/) (дата обращения: 02.01.2018).
32. Fryar C. D., Carroll M. D., Ogden C. L. Prevalence of obesity among children and adolescents: United States, trends 1963–1965 through 2009–2010. — Hyattsville, MD : National Center for Health Statistics, 2012. — 6 p. URL: [https://www.cdc.gov/nchs/data/hestat/obesity\\_child\\_09\\_10/obesity\\_child\\_09\\_10.pdf](https://www.cdc.gov/nchs/data/hestat/obesity_child_09_10/obesity_child_09_10.pdf) (дата обращения: 04.12.2017).
33. Levy J., Segal L. M., Thomas K., Laurent R., Lang A., Rayburn J. F as in Fat: How Obesity Threatens America’s Future 2012. — USA : Trust for America’s Health, Robert Wood Johnson Foundation, 2013.
34. Самошин Д. А., Кудрин И. С., Истратов Р. Н. К вопросу о безопасной эвакуации людей из высотных зданий // *Пожарная безопасность в строительстве*. — 2010. — № 6. — С. 64–67.
35. Pauls J. The movement of people in buildings and design solutions for means of egress // *Fire Technology*. — 1984. — Vol. 20, Issue 1. — P. 27–47. DOI: 10.1007/bf02390046.
36. Великовский Л. Б., Холщевников В. В. Вопросы эвакуации из высотных зданий // *Архитектура СССР*. — 1969. — № 1. — С. 46–49.
37. Предтеченский В. М., Холщевников В. В. Закономерности движения людских потоков и вопросы нормирования коммуникационных путей многоэтажных зданий // *Многоэтажные здания : I Международный симпозиум. СІВ отчет № 21*. — М. : ЦНИИЭП жилища, 1972. — С. 63–68.
38. Предтеченский В. М., Холщевников В. В. Принципы нормирования эвакуации людей из зданий и помещений при пожарах // *Сборные многоэтажные здания : труды III Международного симпозиума*. — М. : ЦНИИЭП жилища, 1976. — С. 148–152.
39. Patton R. M. Fire safety for the high-rise building // *ASHRAE Journal*. — 1971. — Vol. 13, No. 4.

40. Watrou L. D. The ease for evacuating high-rise buildings // Elevator World. — 1972. — No. 11.
41. Siikonen M.-L., Bärlund K., Kontturi R. Transportation design for building evacuation // ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings. — New York, Dec. 11, 2003.
42. Sekizawa A., Nakahama S., Notake H. Study on feasibility of evacuation using elevators in a high-rise building // ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings. — New York, Dec. 11, 2003.
43. Pauls J. Elevator and stairs for evacuation: Comparison and combination // ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings. — New York, Dec. 11, 2003.
44. So A., Lai T., Yu J. Lift logic // FEJ and FP. — August 2003.
45. Bazjanac V. Elevators in evacuation of high-rise buildings // Progressive Architecture. — Berkeley, California : California University, 1974. — P. 1–7.
46. NFPA 101. Code for safety to life from fire in buildings and structures. — Washington : U. S. Department of Commerce, 2012.
47. Klote J. H., Deal S. P., Levin B. M., Groner N. E., Donoghue E. A. Workshop on elevator use during fires / NISTIR 4993. — Washington : U. S. Department of Commerce, 1993. — 18 p. DOI: 10.6028/nist.ir.4993.
48. Klote J. H., Levin B. M., Groner N. E. Emergency elevator evacuation systems // Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Symposium on Elevators, Fire, and Accessibility. — New York : American Society of Mechanical Engineers, 1995.
49. International Building Code. Edition 2015. — USA : International Code Council, Inc., 2014.
50. BS 9999:2017. Fire safety in the design, management and use of buildings. Code of practice. — London : BSI, 2017. DOI: 10.3403/30314118.
51. ISO/TR 25743:2010. Lifts (elevators) — Study of the use of lifts for evacuation during an emergency [Лифты (подъемники). Исследование возможности использования лифтов для эвакуации в чрезвычайной ситуации]. — International Organization for Standardization (Technical Report), 2010. — 30 p.
52. Директива по системам эвакуационных лифтов // Материалы конференции “Высотное строительство”, г. Дубай, 2007.
53. Холщевников В. В., Вольф-Трон Л. И., Ройтбурд С. М. Лифты как средство эвакуации людей из многоэтажных зданий // Подъемно-транспортное и свайное оборудование. — 1978. — № 2. — С. 18–21.
54. Ройтбурд С. М., Холщевников В. В. Безопасная эвакуация людей из многоэтажных зданий. Перспективный аналитический обзор. — М. : ВНИТИ, 1979. — 11 с.
55. Холщевников В. В., Ройтбурд С. М. Эффективность использования лифтов для эвакуации людей // Сборник ВНИИС Госстроя СССР. — 1986. — № 8. — С. 24–31.
56. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Нормирование безопасной эвакуации людей из высотных зданий // Промышленное и гражданское строительство. — 2007. — № 2. — С. 50–52.
57. Ройтбурд С. М. Пассажирский вертикальный транспорт жилых и общественных зданий в свете новых требований // Лифт. — 2010. — № 5(72). — С. 19–23.
58. Холщевников В. В., Кудрин И. С. Эвакуация людей при пожаре в высотных зданиях. Часть 1 // Высотные здания. — 2011. — № 6. — С. 112–117.
59. Холщевников В. В. Эвакуация людей из высотных зданий : учебное пособие. — М. : МГСУ, Институт строительства и архитектуры, 2011.
60. Холщевников В. В., Парфененко А. П., Кудрин И. С. Эвакуация людей при пожаре в высотных зданиях. Часть 4 // Высотные здания. — 2012. — № 3. — С. 112–117.
61. СНиП 35–01–2000. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. — М. : ГУП ЦПП, 2001.
62. МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве. — Введ. 28.12.2005; оконч. дейст. 08.04.2015 // Вестник Мэра и Правительства Москвы. — 2006. — № 7.
63. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Поэтапная эвакуация из высотных зданий : отчет НИР. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2011.
64. Bukowski R., Fleming R., Tubbs J., Marrion C., Dirksen J., Duke C., Prince D., Richardson L. F., Beste L. D., Stanlaske D. Elevator Control // NFPA Journal. — March / April 2006. — P. 43–57.
65. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 25.12.2017).
66. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/12129354:0> (дата обращения: 25.12.2017).

67. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (в ред. от 02.12.2015). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения: 25.12.2017).
68. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time // *Fire Safety Journal*. — 2015. — Vol. 78. — P. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
69. Парфененко А. П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2012. — 153 с.
70. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P. Pre-school and school children building evacuation // *Human Behaviour in Fire : Proceedings of 4<sup>th</sup> International Symposium*. — Cambridge, UK, 2009. — P. 243–254.
71. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfyonenko A. P., Belosokhov I. R. Study of children evacuation from pre-school education institutions // *Fire and Materials*. — 2012. — Vol. 36, No. 5–6. — P. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152.
72. НПБ 250–97. Лифты для транспортирования пожарных подразделений в зданиях и сооружениях. Общие технические требования. URL: <http://base.garant.ru/3922872/> (дата обращения: 20.12.2017).
73. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (ред. от 09.12.2010). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071143> (дата обращения: 20.12.2017).
74. Копылов Н. П., Пивоваров В. В., Пронин Д. Г. Обеспечение безопасности людей в жилых зданиях повышенной этажности // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2017. — Т. 26, № 9. — С. 5–14. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.5–14.
75. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (дата обращения: 10.12.2017).
76. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. — Введ. 01.07.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456044284> (дата обращения: 26.12.2017).
77. Правила разработки, утверждения, опубликования, изменения и отмены сводов правил : постановление Правительства Российской Федерации от 01.07.2016 № 624. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420364602> (дата обращения: 20.12.2017).
78. Холщевников В. В. Закономерности связи между параметрами людских потоков : диплом № 24-S на открытие в области социальной психологии. — М. : Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005.

*Материал поступил в редакцию 10 января 2018 г.*

**Для цитирования:** Холщевников В. В. Терминология или идеология — препятствие безопасной эвакуации людей из высотных зданий при пожаре // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 1. — С. 5–26. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.5-26.

English

## TERMINOLOGY OR IDEOLOGY — OBSTRUCTION TO SAFE EVACUATION OF PEOPLE FROM HIGH-RISE BUILDINGS IN CASE OF FIRE

**KHOLSHCHEVNIKOV V. V.**, Doctor of Technical Sciences, Honoured Science Worker of High School of Russia, Expert of Scientific Research Institute “Federal Research Centre for Projects Evaluation and Consulting Services” (Antonova-Ovseenko St., 13, Bldg. 1, Moscow, 123317, Russian Federation); Professor of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation); Chief Researcher of Institute of Integrated Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: [reglament2004@mail.ru](mailto:reglament2004@mail.ru))

## ABSTRACT

Pre-historic (with respect to the progress of elevator unit fire protection) understandings of the early last century, of CEOs of the national fire safety standardisation system like “Effected by high temperatures, elevator control gets out of order and elevators are blocked inside elevator shafts. It is impossible to quickly identify the elevator position when the power is switched off; the people being inside elevators, die” for decades such concept doomed population of multistoried buildings in our country to foot evacuation at forcedly deactivated elevator units. Recognition by the State programme “Accessible environment” 35 % of country population as disabled persons and persons with reduced mobility compelled them to permit using elevators for transporting fire-fighting units to rescue such people. However, as before, two thirds of multistoried building population are still forced to escape from fire hazard through staircases. At the same time, elevator units, not designated for transporting fire-fighting brigades, will be idle waiting, with open doors, at the ground floor; although, the fire protection level of both types of elevators is the same.

The data provided in the article demonstrate that elevator units in the high-rise building must be not only the means which within everyday operation of high-rise buildings, provide for to all the demographic categories of the population accessibility of business and residential environment which is located hundreds of metres high from the ground level. They must guarantee as well availability of safety zones for them on the ground at occurrence of emergency situations as provided by the Technical Regulations on Safety of Buildings and Structures.

In the meantime, this paradox turns into codes of regulations for designing and fire-safety protection of high-rise buildings, which development is funded by the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation.

To-date regulations of high-rise building fire safety must implement the requirement that automatic fire-extinguishing systems must extinguish fire inside premises prior to occurrence of critical values of fire hazards. In such a case, criteria of safe evacuation will be complied with throughout the evacuation ways, including elevators; thus, there will be excluded a necessity of getting out to burning building facade in search of escaping from impact of fire hazards using individual rescue means or mobile fire-rescue equipment, which is traditional for ideology of fire-fighting organisation. Currently, national manufacturers of fire-fighting protection and fire-extinguishing systems demonstrate a capability to ensure effective functioning of this system complex with a probability of 0.999. The fire-extinguishing systems being developed are intended to reveal these opportunities in designing practice — only then they will be in accordance with the Decree of the President of the Russian Federation dated 01.01.2018 No. 2 “On approval of Fundamentals of the State Policies of the Russian Federation in the area of fire safety for the period of up to 2010”.

**Keywords:** high-rise buildings; fire safety; persons with reduced mobility; evacuation safety; rescue; elevator units; fire protection systems; automatic fire suppression.

## REFERENCES

1. Wright F. L. *The future of architecture*. New York, Horizon Press, 1953. 326 p.
2. Ikonnikov A. V. *New York*. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1980. 96 p. (in Russian).
3. Dykhovichnyy Yu. A. At a new technical level. *Arkhitektura i stroitelstvo Moskvy / Architecture and Construction of Moscow*, 1964, no. 12 (in Russian).
4. *General provisions to the technical requirements for the residential buildings design height of more than 75 meters*. Order of Moscow City Architecture Committee on 17.05.2002 No. 101 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200030075> (Accessed 20 December 2017).
5. Stepanov O. P., Nesterenko V. M. Actual problems of ensuring the security and antiterrorist protection of the Moscow International Business Center “Moscow-City”. In: Complex security and antiterrorist protection of high-rise buildings and unique construction in Moscow. Proceedings of Moscow City Scientific and Practical Conference (March 21–22, 2007, Moscow). *Globalnaya bezopasnost / Global Security*, 2007, special issue, pp. 64–67 (in Russian).

6. Belyaev S. V. *Evakuatsiya zdaniy massovogo naznacheniya* [Evacuation of buildings for mass use]. Moscow, All-Union Academy of Architecture Publ., 1938. 72 p. (in Russian).
7. Construction rules and regulations 21-01-97\*. *Fire safety of buildings and works* (ed. on 19.07.2002) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (Accessed 20 December 2017).
8. Construction rules 295-64. *Time directions on fire-safety requirements for designing residential houses with 10 floors and more (to be applied in experimental designing and construction)*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1965. 13 p. (in Russian).
9. Kholshchevnikov V. V. *Optimization of the movement flow of human flows. High-rise buildings*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1969. 251 p. (in Russian).
10. Predtechenskiy V. M. On calculation of people flows in general public buildings. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo i arkhitektura / News of higher educational institutions. Construction and Architecture*, 1958, no. 7, pp. ??-?? (in Russian).
11. Kholshchevnikov V. V., Kudrin I. S. Experimental research of a human flow on the stairs in the multi-story buildings. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 43-60 (in Russian).
12. Kudrin I. S. *Influence of parameters of traffic flows of people in case of fire in the volumetric-planning solutions of tall buildings*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2013. 190 p. (in Russian).
13. Kholshchevnikov V. V. Experimental researches of human flow in staircases of high-rise buildings. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 21, pp. 42549-42552.
14. Lizhong Yang, Ping Rao, Kongjin Zhu, Shaobo Liu, Xin Zhan. Observation study of pedestrian flow on staircases with different dimensions under normal and emergency conditions. *Safety Science*, 2012, vol. 50, issue 5, pp. 1173-1179. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.12.026.
15. Hoskins B. L., Milke J. A. Differences in measurement methods for travel distance and area for estimates of occupant speed on stairs. *Fire Safety Journal*, 2012, vol. 48, pp. 49-57. DOI: 10.1016/j.fire-saf.2011.12.009.
16. Boyce K. E., Purser D. A., Shields T. J. Experimental studies to investigate merging behaviour in a staircase. *Fire and Materials*, 2011, vol. 36, issue 5-6, pp. 383-398. DOI: 10.1002/fam.1091.
17. Sunder S. S., Gann R. G., Grosshandler W. L., Lew H. S., Bukowski R. W., Sadek F., Gayle F. W., Gross J. L., McAllister T. P., Averill J. D., Lawson J. R., Nelson H. E., Cauffman S. A. *Final report on the collapse of the World Trade Center towers. NIST NCSTAR 1, WTC Investigation*. Washington, U. S. Department of Commerce, 2005. 248 p. DOI: 10.6028/nist.ncstar.1.
18. *The World Trade Center Bombing: Report and Analysis*. Emmitsburg, Maryland, US Fire Administration, Department of Homeland Security, 1993 (retrieved 2011), pp. 10-25.
19. Pochebut L. G. *Sotsialnaya psikhologiya tolpy* [Social psychology of the crowd]. Saint Petersburg, Rech Publ., 2004. 240 p. (in Russian).
20. Reeves N. D., Spanjaard M., Mohagheghi A. A., Baltzopoulos V., Maganaris C. N. The demands of stair descent relative to maximum capacities in elderly and young adults. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2008, vol. 18, issue 2, pp. 218-227. DOI: 10.1016/j.jelekin.2007.06.003.
21. Kang H. G., Dingwell J. B. Effects of walking speed, strength and range of motion on gait stability in healthy older adults. *Journal of Biomechanics*, 2008, vol. 41, issue 14, pp. 2899-2905. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2008.08.002.
22. Samoshin D. A., Istratov R. N. The parameters of pedestrian flows in hospital during fire evacuation. In: *Interflam 2013. Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference (24-26 June 2013, Royal Holloway College, University of London, UK)*. Greenwich, London, Interscience Communications, Ltd., 2013, pp. 1003-1012.
23. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Istratov R. N. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire. In: *Human Behaviour in Fire. Proceedings of 5<sup>th</sup> International Symposium*. Cambridge, UK, 2012, pp. 587-593.
24. Istratov R. N. Study on rescue possibilities of immobile people from medical and social institutions in case of fire. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 54-63 (in Russian).
25. Istratov R. N. *Rationing of requirements of fire safety to evacuation ways and exits in hospitals of social establishments on service of citizens of advanced age*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2014. 160 p. (in Russian).
26. Ando K., Ota H., Oki T. Forecasting the flow of people. *Railway Research Review*, 1988, vol. 45, no. 2, pp. 8-14 (in Japanese).

27. Fujiyama T., Tyler T. Free walking speeds on stairs: effects of stair gradients and obesity of pedestrians. In: Peacock R., Kuligowski E., Averill J. (eds.). *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Boston, MA, Springer, 2011, pp. 95–105. DOI: 10.1007/978-1-4419-9725-8\_9.
28. Kuligowski E. D., Peacock R. D., Reneke P. A., Wiess E., Hagwood C. R., Overholt K. J., Elkin R. P., Averill J. D., Ronchi E., Hoskins B. L., Spearpoint M. Movement on stairs during building evacuations. *NIST Technical Note 1839*. Washington, U. S. Department of Commerce, 2015. DOI: 10.6028/NIST.TN.1839.
29. *OECD. Obesity Update 2012*. Available at: <http://www.oecd.org/health/49716427.pdf> (Accessed 4 December 2017).
30. *State Program of the Russian Federation "Affordable Environment" for 2011–2020*. Decree of the Government of the Russian Federation on 01.12.2015 No. 1297 (ed. on 09.11.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420319730> (Accessed 20 December 2017).
31. *On the social protection of disabled people in the Russian Federation*. Federal Law on 24.11.1995 No. 181-FZ (ed. on 29.12.2017) (in Russian). Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_8559/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8559/) (Accessed 2 January 2018).
32. Fryar C. D., Carroll M. D., Ogden C. L. *Prevalence of obesity among children and adolescents: United States, trends 1963–1965 through 2009–2010*. Hyattsville, MD, National Center for Health Statistics, 2012. 6 p. Available at: [https://www.cdc.gov/nchs/data/hestat/obesity\\_child\\_09\\_10/obesity\\_child\\_09\\_10.pdf](https://www.cdc.gov/nchs/data/hestat/obesity_child_09_10/obesity_child_09_10.pdf) (Accessed 4 December 2017).
33. Levy J., Segal L. M., Thomas K., Laurent R., Lang A., Rayburn J. *F as in Fat: How Obesity Threatens America's Future 2012*. USA, Trust for America's Health, Robert Wood Johnson Foundation, 2013.
34. Samoshin D. A., Kudrin I. S., Istratov R. N. On the safe evacuation of people from high-rise buildings. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve / Fire Safety in Construction*, 2010, no. 6, pp. 64–67 (in Russian).
35. Pauls J. The movement of people in buildings and design solutions for means of egress. *Fire Technology*, 1984, vol. 20, issue 1, pp. 27–47. DOI: 10.1007/bf02390046.
36. Velikovskiy L. B., Kholshchevnikov V. V. Evacuation from high-rise buildings. *Arkitektura SSSR / Architecture in the USSR*, 1969, no. 1, pp. 46–49 (in Russian).
37. Predtechenskiy V. M., Kholshchevnikov V. V. Regularities of the movement of human flows and issues of rationing communication paths of multi-storey buildings. In: *Mnogoetazhnyye zdaniya. I Mezhdunarodnyy simpozium. CIB otchet № 21* [Multi-storey buildings. Proceedings of I International Symposium. CIB Report No. 21]. Moscow, TsNIIEP zhilishcha, 1972, pp. 63–68 (in Russian).
38. Predtechenskiy V. M., Kholshchevnikov V. V. Principles of rationing of people evacuation from buildings and premises during fires. In: *Sbornyye mnogoetazhnyye zdaniya. Trudy III Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Prefabricated multi-storey buildings. Proceedings of III International Symposium]. Moscow, TsNIIEP zhilishcha, 1976, pp. 148–152 (in Russian).
39. Patton R. M. Fire safety for the high-rise building. *ASHRAE Journal*, 1971, vol. 13, no. 4.
40. Watrou L. D. The ease for evacuating high-rise buildings. *Elevator World*, 1972, no. 11.
41. Siikonen M.-L., Bärlund K., Kontturi R. Transportation design for building evacuation. *ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings*. New York, Dec. 11, 2003.
42. Sekizawa A., Nakahama S., Notake H. Study on feasibility of evacuation using elevators in a high-rise building. *ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings*. New York, Dec. 11, 2003.
43. Pauls J. Elevator and stairs for evacuation: Comparison and combination. *ASME Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings*. New York, Dec. 11, 2003.
44. So A., Lai T., Yu J. Lift logic. *FEJ and FP*, August 2003.
45. Bazjanac V. Elevators in evacuation of high-rise buildings. In: *Progressive Architecture*. Berkeley, California, California University, 1974, pp. 1–7.
46. NFPA 101. *Code for safety to life from fire in buildings and structures*. Washington, U. S. Department of Commerce, 2012.
47. Klote J. H., Deal S. P., Levin B. M., Groner N. E., Donoghue E. A. *Workshop on elevator use during fires. NISTIR 4993*. Washington, U. S. Department of Commerce, 1993. 18 p. DOI: 10.6028/nist.ir.4993.
48. Klote J. H., Levin B. M., Groner N. E. Emergency elevator evacuation systems. In: *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Symposium on Elevators, Fire, and Accessibility*. New York, American Society of Mechanical Engineers, 1995.
49. *International Building Code*. Edition 2015. USA, International Code Council, Inc., 2014.

50. BS 9999:2017. *Fire safety in the design, management and use of buildings. Code of practice*. London, BSI, 2017. DOI: 10.3403/30314118.
51. ISO/TR 25743:2010. *Lifts (elevators) — Study of the use of lifts for evacuation during an emergency*. International Organization for Standardization (Technical Report), 2010. 30 p.
52. Directive on the evacuation elevators systems. In: *High-Rise Buildings*. Proceedings of Conference, Dubai, 2007.
53. Kholshchevnikov V. V., Wolf-Trop L. I., Roytburd S. M. Elevators as a means of evacuation from high-rise buildings. *Podyemno-transportnoye i svaynoye oborudovaniye / Materials Handling and Piling Equipment*, 1978, no. 2, pp. 18–21 (in Russian).
54. Roytburd S. M., Kholshchevnikov V. V. *Bezopasnaya evakuatsiya lyudey iz mnogoetazhnykh zdaniy. Perspektivnyy analiticheskiy obzor* [Safe evacuation of people from high-rise buildings. Promising analytical review]. Moscow, VINITI Publ., 1979. 11 p. (in Russian).
55. Kholshchevnikov V. V., Roytburd S. M. Efficiency of the elevators use for people evacuation. *Sbornik VNIIS Gosstroya SSSR / Proceedings of VNIIS of Gosstroy of USSR*, 1986, no. 8, pp. 24–31 (in Russian).
56. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. Rating the safe escape of people from high-rise buildings and its provision with software. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo / Industrial and Civil Engineering*, 2007, no. 2, pp. 50–52 (in Russian).
57. Roytburd S. M. Passenger vertical transport of residential and public buildings in the light of new requirements. *Lift*, 2010, no. 5(72), pp. 19–23 (in Russian).
58. Kholshchevnikov V. V., Kudrin I. S. People evacuation in case of fire in high rise buildings. Part. 1. *Vysotnyye zdaniya / Tall Buildings*, 2011, no. 6, pp. 112–117 (in Russian).
59. Kholshchevnikov V. V. *Evakuatsiya lyudey iz vysotnykh zdaniy* [People evacuation from high rise buildings]. Moscow, MGSU, Institute of Construction and Architecture Publ., 2011 (in Russian).
60. Kholshchevnikov V. V., Parfenenko A. P., Kudrin I. S. People evacuation in case of fire in high rise buildings. Part. 4. *Vysotnyye zdaniya / Tall Buildings*, 2012, no. 3, pp. 112–117 (in Russian).
61. Construction rules and regulations 35-01–2000. *Accessibility of buildings and structures for persons with reduced mobility*. Moscow, GUP TsPP Publ., 2001 (in Russian).
62. Moscow city construction norms 4.19–2005. Temporary regulations multifunctional design of high-rise buildings and complexes of buildings in Moscow. *Vestnik Mera i Pravitelstva Moskvy / Statement of the Mayor and the Government of Moscow*, 2006, no. 7 (in Russian).
63. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A. *Poetapnaya evakuatsiya iz vysotnykh zdaniy* [Step-by-step evacuation from high-rise buildings]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2011 (in Russian).
64. Bukowski R., Fleming R., Tubbs J., Marrion C., Dirksen J., Duke C., Prince D., Richardson L. F., Beste L. D., Stanlaske D. Elevator Control. *NFPA Journal*, March / April 2006, pp. 43–57.
65. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123-FZ (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 25 December 2017).
66. *On technical regulation*. Federal Law on 27.12.2002 No. 184-FZ (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://ivo.garant.ru/#/document/12129354:0> (Accessed 25 December 2017).
67. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger*. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382 (ed. on 02.12.2015) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (Accessed 25 December 2017).
68. Thompson P., Nilsson D., Boyce K., McGrath D. Evacuation models are running out of time. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 78, pp. 251–261. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.
69. Parfenenko A. P. *Rationing of fire safety requirements for evacuation routes and exits in buildings of preschool educational institutions*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2012. 153 p. (in Russian).
70. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P. Pre-school and school children building evacuation. In: *Human Behaviour in Fire. Proceedings of 4<sup>th</sup> International Symposium*. Cambridge, UK, 2009, pp. 243–254.
71. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfyonenko A. P., Belosokhov I. R. Study of children evacuation from pre-school education institutions. *Fire and Materials*, 2012, vol. 36, no. 5-6, pp. 349–366. DOI: 10.1002/fam.2152.
72. Fire Protection Standards 250–97. *Fire fighting lifts. General technical requirements* (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/3922872/> (Accessed 20 December 2017).

73. Set of rules 1.13130.2009. *The systems of fire protection. Evacuation ways and exits* (ed. on 09.12.2010) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200071143> (Accessed 20 December 2017).
74. Kopylov N. P., Pivovarov V. V., Pronin D. G. Ensuring the safety of people in residential high-rise buildings. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 9, pp. 5–14 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.5-14.
75. *Technical regulation of buildings and structures safety*. Federal Law on 30.12.2009 No. 384-FZ (ed. on 02.07.2013) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (Accessed 10 December 2017).
76. Set of rules 267.1325800.2016. *High rise buildings and complexes. Design rules*. (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456044284> (Accessed 26 December 2017).
77. *Rules for the development, approval, publication, amendment and cancellation of sets of rules*. Decree of the Government of the Russian Federation on 01.07.2016 No. 624. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420364602> (Accessed 20 December 2017).
78. Kholshchevnikov V. V. *Relationship between parameters of human flow. Diploma No. 24-S on the discovery in the field of social psychology*. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions, International Association of Authors of Scientific Discoveries Publ., 2005 (in Russian).

**For citation:** Kholshchevnikov V. V. Terminology or ideology — obstruction to safe evacuation of people from high-rise buildings in case of fire. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 5–26 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.5-26.



## Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



### Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 40 с. : ил.

В учебном пособии изложены базовые основы, действующие требования и современные представления о целях, задачах и способах ограничения распространения пожара по зданиям и сооружениям путем их разделения на пожарные отсеки.

Пособие предназначено для студентов Московского государственного строительного университета. Оно может быть использовано также другими образовательными учреждениями и практическими работниками, занимающимися вопросами обеспечения пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: [info@fire-smi.ru](mailto:info@fire-smi.ru)

**Д. Ф. КОЖЕВИН**, канд. техн. наук, заместитель начальника кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: yagmort\_kdf@mail.ru)

**В. Р. НОВИКОВ**, старший преподаватель кафедры специальной подготовки, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: novikovvr@mail.ru)

**А. С. ПОЛЯКОВ**, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: poljakov\_as@mail.ru)

**А. В. КЛЕЙМЕНОВ**, д-р техн. наук, начальник Управления научно-технического развития, Департамент развития нефтепереработки и нефтехимии, дирекция нефтепереработки, ПАО "Газпром нефть" (Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Почтамтская, 3-5; e-mail: kleymenov.av@gazprom-neft.ru)

УДК 614.845.1

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОЖАРНОГО РИСКА НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ С ЖИДКИМИ МОТОРНЫМИ ТОПЛИВАМИ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ОГНЕТУШИТЕЛЕЙ

Показано, что современные методики расчета величины пожарного риска не учитывают эффекта от применения огнетушителей, хотя "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" рассматривает их как один из способов защиты людей и имущества от пожара. Установлена необходимость оценки влияния применения огнетушителей на расчетную величину пожарного риска. Проведен анализ оснащенности объектов нефтебаз огнетушителями. Построены логические деревья событий для различных сценариев аварии. Предложена методика определения пожарного риска при проливе нефтепродуктов, учитывающая эффективность применения порошковых огнетушителей различного типоразмера. В качестве примера приведен расчет потенциального риска для насосной станции с учетом предложенной методики. Показано, что применение порошковых огнетушителей может оказать существенное влияние на величину потенциального риска, лежащего в основе расчета величины пожарного риска (индивидуального и социального).

**Ключевые слова:** пожарный риск; огнетушитель; эффективность огнетушителей; нефтегазовый комплекс; безопасность.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.01.27-34

### Введение

Общие требования пожарной безопасности к производственным объектам определены на государственном уровне, в том числе в виде величин индивидуального риска [1, ст. 93]. В тех случаях, когда невозможно (по объективным причинам) обеспечить нормированное значение риска, для производственных объектов допускается превышение его (хотя это крайне нежелательно), что должно быть всесторонне обосновано.

В связи с этим особую обеспокоенность специалистов вызывает пожарная безопасность объектов нефтегазового комплекса России, где, несмотря на принимаемые меры, ежегодно происходит 13–18 аварий, приводящих к многомиллионному ущербу [2, 3].

В соответствии с требованиями ст. 52 [1] одним из способов защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара являются первичные средства пожаротушения. Кроме того, согласно [4, 5] производственные и складские объекты нефтегазового комплекса подлежат оснащению огнетушителями. При этом их применение не учитывается при расчете величины пожарного риска [6].

В зарубежных источниках при расчете пожарного риска и при анализе пожарной опасности применение первичных средств пожаротушения либо не учитывается вовсе, либо рекомендовано учитывать возможное применение огнетушителей и пожарных кранов только при наличии подготовленного персонала [7, 8]. В работе [9] при расчете пожарного

риска рекомендуется учитывать использование огнетушителей, причем на стадии построения логического дерева событий.

### Цели и задачи

Целью настоящей работы является определение полезного эффекта (по величине пожарного риска) от применения порошковых огнетушителей на объектах нефтегазового комплекса.

В связи с этим нами предложена методика определения пожарного риска с учетом эффективности применения огнетушителей при тушении проливов нефтепродуктов с высокой температурой вспышки и изложены ее основы.

Для жидкостей, температура вспышки которых выше температуры окружающей среды, количества паров, образующихся над зеркалом жидкости, для вспышки и/или воспламенения недостаточно. Образование их возможно только при длительном воздействии источника нагревания (отсроченное зажигание), причем прогрев этой жидкости будет неравномерным. Сначала локально (возле источника зажигания) она нагреется до температуры вспышки и далее — до температуры воспламенения, и лишь потом постепенно пламя будет охватывать пролив. Только на этой стадии, пока пламя не охватило весь пролив и площадь горения относительно невелика, целесообразно применение огнетушителей.

При авариях, связанных с проливом жидкостей, температура вспышки которых ниже температуры окружающей среды, горючая паровоздушная смесь образуется над зеркалом жидкости сразу после разгерметизации аппарата. При внесении источника зажигания либо сразу (мгновенное воспламенение), либо через некоторое время (воспламенение с задержкой) произойдет ее кинетическое сгорание, и вся площадь пролива будет охвачена пламенем (диффузионное горение). В этом случае применение огнетушителей бесполезно.

В ст. 144 [1] предусмотрено несколько форм оценки соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности, в том числе:

- декларирование пожарной безопасности;
- независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности).

В обоих случаях в соответствии со ст. 6 ч. 6 [1] составной частью оценки соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности является расчет величины пожарного риска, в результате которого должна быть дана полная оценка риска возникновения пожаров на производственных объектах. Данная оценка включает:

- анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на производственном объекте;

- определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;
- определение перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную, для каждого технологического процесса;
- построение сценариев возникновения и развития пожаров [1, ст. 94].

Исходя из вышеизложенного решены следующие задачи:

- определена эффективность применения порошковых огнетушителей на начальной стадии тушения пожара пролива нефтепродуктов;
- разработана методика оценки пожарного риска с учетом применения порошковых огнетушителей.

### Теория и расчеты

В соответствии с [6] для каждой пожароопасной ситуации на объекте приводится описание причин ее возникновения и развития, места ее возникновения и опасных факторов пожара, представляющих угрозу жизни и здоровью людей в местах их пребывания.

Для определения величины пожарного риска необходимо построить логическое дерево событий, учитывающее многие факторы, например:

- пожароопасные ситуации, приводящие к авариям и дальнейшему распространению пожара;
- вероятности распространения пожара и различные условия его развития в зависимости от окружающей обстановки;
- условия, которые позволят предусмотреть возможные сценарии развития пожара в зависимости от применяемых мер по его тушению.

Учет роли применения огнетушителей при расчете величины пожарного риска на производственных объектах необходимо осуществлять на этапе построения логического дерева событий.

Подобная методика применяется при расчете величины пожарного риска на объектах защиты с наличием систем автоматического пожаротушения (АУПТ) [10]. В этом случае условную вероятность их эффективного срабатывания принимают равной 0,8 [10] без учета применения огнетушителей.

Таким образом, возникает необходимость в определении эффективности применения огнетушителей  $P_{эф}$  для обеспечения тушения пожара пролива на начальной стадии. Она может быть определена по зависимости, не противоречащей законам теории вероятности [9–13]:

$$P_{эф} = P_1 P_2 P_3 P_4, \quad (1)$$

где  $P_1$  — вероятность нахождения  $k$ -го количества операторов, применяющих огнетушители, рядом с местом аварии;

$P_2$  — вероятность умения оператора применять огнетушитель;

$P_3$  — нормативная вероятность тушения огнетушителем заданного модельного очага пожара, определяемая в соответствии с п. В.3.3.6 ГОСТ Р 51057–2001;

$P_4$  — вероятность тушения возгорания.

Вероятность тушения пропорциональна нормативной площади тушения огнетушителем заявленного типоразмера (огнетушащая способность огнетушителя) и обратно пропорциональна потенциальной площади пожара пролива, которую может ликвидировать огнетушитель. Огнетушащая способность определяется на модельных очагах пожара и является величиной сравнительной, т. е. характеризующей относительную эффективность огнетушителей разных типоразмеров. Поэтому для оценки вероятности тушения необходимо рассматривать каждую ситуацию (пролив каждой обращающейся жидкости) индивидуально с учетом потенциальной площади пожара пролива, которую возможно ликвидировать огнетушителем:

$$P_4 = S_{\text{норм}} / S^*, \quad (2)$$

где  $S_{\text{норм}}$  — площадь тушения огнетушителем, равная площади модельного очага пожара (ГОСТ Р 51057–2001, [14]), м<sup>2</sup>;

$S^*$  — потенциальная площадь пролива нефтепродукта, м<sup>2</sup>.

С учетом формулы (2) выражение (1) примет вид:

$$P_{\text{эф}} = P_1 P_2 P_3 (S_{\text{норм}} / S^*). \quad (3)$$

Потенциальную площадь пролива нефтепродукта  $S^*$ , для тушения которой целесообразно применять огнетушители стандартного типоразмера, можно вычислить по предложенной авторами формуле, которая определена по общенаучному методу анализа размерности [15–19]:

$$S^* = \sqrt[3]{\pi \left( \frac{m_{\text{зар}} Q_{\text{пор}} V}{W Q_{\text{низш}}} \right)^2}, \quad (4)$$

где  $m_{\text{зар}}$  — масса заряда огнетушащего порошка в огнетушителе, кг;

Исходные данные для расчета эффективности применения огнетушителей для гипотетического объекта  
Data for calculation of efficiency of the use of fire extinguishers for a hypothetical object

| № п/п<br>No. | Показатель<br>Property                                                                                                                                                 | Обозначение<br>Identity                | Ед. изм.<br>Units                                | Значение<br>Value |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|
| 1            | Площадь тушения для огнетушителя заявленного типоразмера<br>Area suppression for a fire extinguisher of the stated size                                                | $S_{\text{норм}}$<br>$S_{\text{norm}}$ | м <sup>2</sup><br>m <sup>2</sup>                 | 2,25              |
| 2            | Удельная массовая скорость выгорания нефтепродукта<br>The mass rate of burning out of oil                                                                              | $W$                                    | кг/(м <sup>2</sup> ·с)<br>kg/(m <sup>2</sup> ·s) | 0,048             |
| 3            | Линейная скорость распространения пламени<br>The linear velocity of flame propagation                                                                                  | $V$                                    | м/с<br>m/s                                       | 0,45              |
| 4            | Низшая теплота сгорания дизтоплива<br>The lowest calorific value of diesel fuel                                                                                        | $Q_{\text{низш}}$<br>$Q_{\text{low}}$  | МДж/кг<br>MJ/kg                                  | 43                |
| 5            | Типоразмер огнетушителей<br>The size of fire extinguishers                                                                                                             | —                                      | —                                                | ОП-5<br>OP-5      |
| 6            | Теплопоглощение порошка<br>The absorption of the powder                                                                                                                | $Q_{\text{пор}}$<br>$Q_{\text{pow}}$   | МДж/кг<br>MJ/kg                                  | 3,3               |
| 7            | Вероятность нахождения оператора на объекте защиты<br>The probability of finding the operator on the object of protection                                              | $P_1$                                  | —                                                | 1,00*             |
| 8            | Вероятность умения оператора применять огнетушитель<br>The probability of the ability to use a fire extinguisher by the operator                                       | $P_2$                                  | —                                                | 1,00**            |
| 9            | Нормативная вероятность тушения огнетушителем заданного модельного очага пожара<br>Normative probability of extinguishing a fire extinguisher of a given model of fire | $P_3$                                  | —                                                | 1/3***            |
| 10           | Масса заряда огнетушащего порошка в одном огнетушителе<br>The weight of the charge of fire extinguishing powder within the extinguisher                                | $m$                                    | кг<br>kg                                         | 5                 |

\* С учетом круглосуточной работы насосной станции / Given the round-the-clock operation of the pump station.

\*\* Все сотрудники обучены применению огнетушителей / All staff is trained in the use of fire extinguishers.

\*\*\* По ГОСТ Р 51057–2001, п. В.3.3.6 / State standard of the Russian Federation 51057–2001, par. V.3.3.6.

Примечание. Все значения приведены в соответствии с опубликованными данными.

Note. All values are given in accordance with the published data.

| Мгновенное воспламенение<br>Instant ignition | Последующее воспламенение при отсутствии мгновенного воспламенения<br>Subsequent inflammation in the absence of instant ignition | Эффективное применение огнетушителей<br>Effective use of fire extinguishers | Срабатывание системы пожаротушения<br>Triggering of fire extinguishing systems | Последствия аварийной ситуации<br>Consequences of emergency | Вероятность реализации сценария<br>Probability of scenario       |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Да / Yes<br>$P = 0$                          | Нет / No<br>$P = 0,939$                                                                                                          | Да / Yes<br>$P = 0,22$                                                      | Да / Yes<br>$P = 0,8$                                                          | Рассеяние облака<br>Cloud scattering                        | Рассеяние облака<br>Cloud scattering                             |
|                                              |                                                                                                                                  |                                                                             |                                                                                | Рассеяние облака<br>Cloud scattering                        |                                                                  |
|                                              |                                                                                                                                  |                                                                             |                                                                                | Рассеяние облака<br>Cloud scattering                        |                                                                  |
| Нет / No<br>$P = 1$                          | Да / Yes<br>$P = 0,061$                                                                                                          | Нет / No<br>$P = 0,78$                                                      | Да / Yes<br>$P = 0,8$                                                          | Рассеяние облака<br>Cloud scattering                        | $Q_{np} = 9,516 \cdot 10^{-3}$<br>$Q_{sr} = 9,516 \cdot 10^{-3}$ |
|                                              |                                                                                                                                  |                                                                             | Нет / No<br>$P = 0,2$                                                          | Пожар пролива<br>Fire start                                 |                                                                  |
|                                              |                                                                                                                                  |                                                                             |                                                                                |                                                             |                                                                  |

Рис. 1. Логическое дерево событий для сценария с применением огнетушителей

Fig. 1. The logical tree of events for the scenario with the use of fire extinguishers

| Мгновенное воспламенение<br>Instant ignition | Последующее воспламенение при отсутствии мгновенного воспламенения<br>Subsequent inflammation in the absence of instant ignition | Срабатывание системы пожаротушения<br>Triggering of fire extinguishing systems | Последствия аварийной ситуации<br>Consequences of emergency | Вероятность реализации сценария<br>Probability of scenario      |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Да / Yes<br>$P = 0$                          | Нет / No<br>$P = 0,939$                                                                                                          | Да / Yes<br>$P = 0,8$                                                          | Рассеяние облака<br>Cloud scattering                        | Рассеяние облака<br>Cloud scattering                            |
|                                              |                                                                                                                                  |                                                                                | Рассеяние облака<br>Cloud scattering                        |                                                                 |
|                                              |                                                                                                                                  |                                                                                | Рассеяние облака<br>Cloud scattering                        |                                                                 |
| Нет / No<br>$P = 1$                          | Да / Yes<br>$P = 0,061$                                                                                                          | Нет / No<br>$P = 0,2$                                                          | Пожар пролива<br>Fire start                                 | $Q_{np} = 12,2 \cdot 10^{-3}$<br>$Q_{str} = 12,2 \cdot 10^{-3}$ |

Рис. 2. Логическое дерево событий для сценария без применения огнетушителей

Fig. 2. The logical tree of events for the scenario without the use of fire extinguishers

$Q_{\text{пор}}$  — количество теплоты, отнимаемое огнетушащим порошком из зоны горения, Дж/кг;  
 $V$  — линейная скорость распространения пламени по нефтепродукту, м/с;  
 $W$  — массовая скорость испарения нефтепродукта, кг/(м<sup>2</sup>·с);  
 $Q_{\text{низш}}$  — низшая теплота сгорания нефтепродукта, Дж/кг.

### Результаты и их обсуждение

С использованием формул (1)–(4) определен потенциальный риск для гипотетического объекта защиты, в качестве которого принята насосная станция по перекачке дизельного топлива.

Исходные данные для расчетов сведены в таблицу.

Площадь пролива нефтепродукта, на которой целесообразно применять огнетушитель имеющегося типоразмера, вычисленная по формуле (4), составляет:

$$S^* = \sqrt[3]{3,14 \left( \frac{5 \cdot 3,3 \cdot 0,45}{0,048 \cdot 43} \right)^2} = 3,43 \text{ м}^2.$$

С учетом значений, полученных в результате вычислений по формуле (4), эффективность применения огнетушителей при тушении пролива нефтепродуктов в насосной станции по формуле (3) составит:

$$P_{\text{эф}} = 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{2,25}{3,43} = 0,22.$$

Исходя из имеющихся данных, построено логическое дерево событий для двух сценариев: 1) с применением огнетушителей (рис. 1); 2) без их применения (рис. 2).

По полученным данным определена величина потенциального пожарного риска для каждого сценария по формуле [6]:

$$P_i = \sum_{j=1}^j Q_j \cdot Q_{dij},$$

где  $j$  — число сценариев возникновения пожара в здании;

$Q_j$  — частота реализации в течение года  $j$ -го сценария пожара, год<sup>-1</sup>;

$Q_{dij}$  — условная вероятность поражения человека при его нахождении в  $i$ -м помещении при реализации  $j$ -го сценария пожара [6].

Для расчетной аварии принята частота разгерметизации насоса, равная  $1,0 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup> (согласно табл. П 1.1 в [6]), т. е. произошло полное разрушение насоса, перекачивающего дизельное топливо, а условная вероятность поражения человека  $Q_{dij} = 1,00$ . Тогда потенциальный риск будет составлять:

- для сценария с применением огнетушителей:

$$P_{\text{огн}} = 9,5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1};$$

- для сценария без применения огнетушителей:

$$P_{\text{б/огн}} = 12,2 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Разница в величине потенциального риска составит:

$$\Delta P = P_{\text{б/огн}} - P_{\text{огн}} = 12,2 \cdot 10^{-7} - 9,5 \cdot 10^{-7} = 2,7 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Следовательно, величина индивидуального пожарного риска  $R_m$  прямо пропорциональна потенциальному риску  $P$ . Относительное изменение величины индивидуального пожарного риска при применении и без применения огнетушителей будет составлять:

$$\frac{R_{m(\text{б/огн})} - R_{m(\text{огн})}}{R_{m(\text{б/огн})}} = 22,1 \%.$$

### Заключение

Представленные в статье данные свидетельствуют о том, что применение порошковых огнетушителей может оказать существенное влияние (порядка 20 %) на расчетную величину пожарного риска. В связи с этим необходимо учитывать их применение при расчетах пожарного риска на производственных объектах с жидкими моторными топливами, для которых предусмотрено оснащение порошковыми огнетушителями.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 01.08.2017).
2. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2011–2016 гг. — М. : ЗАО НТЦ ПБ, 2012–2017.
3. Soares C. G. (ed.). Safety and reliability of industrial products, systems and structures. — London : CRC Press / Taylor & Francis Group, 2010. — 472 p. DOI: 10.1201/b10572.
4. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (в ред. от 01.03.2017) : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390. URL: <http://base.garant.ru/70170244/#help> (дата обращения: 01.08.2017).

5. ВППБ 01-04-98. Правила пожарной безопасности для предприятий и организаций газовой промышленности. — М. : ИПЦ Газпром, 1998. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200001963> (дата обращения: 01.08.2017).
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 05.06.2017).
7. BS 7974:2001. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice [Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Свод правил]. — London, UK : British Standards Institution, 2001. — 34 p. DOI: 10.3403/02396195.
8. NFPA 551. Guide for the evaluation of fire risk assessments [Руководство по анализу оценки пожарного риска]. — Quincy, MA : NFPA, 2016.
9. PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7. Probabilistic risk assessment [Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Часть 7: Вероятностная оценка пожарного риска]. — London, UK : British Standards Institution, 2003.
10. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. — М. : ВНИИПО 2012. — 242 с.
11. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учебник для вузов. — 6-е изд. стер. — М. : Высшая школа, 1999. — 576 с.
12. Самойленко Н. И., Кузнецов А. И., Костенко А. Б. Теория вероятностей : учебник. — Харьков : Изд-во “НТМТ”, 2009. — 200 с.
13. Jaynes E. T. Probability theory. The logic of science. — Cambridge : Cambridge University Press, 2003. DOI: 10.1017/CBO9780511790423.
14. Карпов А. П. Огнетушители. Устройство, испытания, выбор, применение, техническое обслуживание и перезарядка. — М. : ВНИИПО, 2003. — 267 с.
15. Бриджмен П. Анализ размерностей / Пер. с англ. — Ижевск : НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001. — 148 с.
16. Шишмарев В. Ю. Надежность технических систем : учебник для студентов высших учебных заведений. — М. : Издательский центр “Академия”, 2010. — 304 с.
17. Billinton R., Allan R. N. Reliability evaluation of power systems. — 2<sup>nd</sup> ed. — New York : Plenum Press, 1996. — 614 p.
18. Павловская О. О., Алешин Е. А. Основы теории надежности : учебное пособие. — Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2007. — 56 с.
19. Справочник по исследованию операций / Под общ. ред. Ф. А. Матвейчука. — М. : Воениздат, 1979. — 368 с.

*Материал поступил в редакцию 15 августа 2017 г.*

**Для цитирования:** Кожевин Д. Ф., Новиков В. Р., Поляков А. С., Клейменов А. В. Методика расчета пожарного риска на производственных объектах с жидкими моторными топливами с учетом применения порошковых огнетушителей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 1. — С. 27–34. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.27-34.

English

## METHOD FOR CALCULATING FIRE RISK TAKING INTO ACCOUNT THE USE OF FIRE EXTINGUISHERS ON PRODUCTION FACILITIES WITH LIQUID MOTOR FUEL

**KOZHEVIN D. F.**, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Physical and Chemical Bases of the Burning and Extinguishing Processes Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: [yagmort\\_kdf@mail.ru](mailto:yagmort_kdf@mail.ru))

**NOVIKOV V. R.**, Senior Lecturer of Special Training Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: [novikovvr@mail.ru](mailto:novikovvr@mail.ru))

**POLYAKOV A. S.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor of Physics and Heating Engineers Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: poljakov\_as@mail.ru)

**KLEYMENOV A. V.**, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Scientific and Technical Development, Department of Development of Oil Refining and Petrochemicals, Directorate of Oil Refining, PJSC Gazprom Neft (Pochtamtskaya St., 3-5, Saint Petersburg, 190000, Russian Federation; e-mail: kleymenov.av@gazprom-neft.ru)

## ABSTRACT

Under this science article took place an analysis of the usage of powder fire extinguishers in the calculation of fire risk and the conduct of a quantitative analysis of the risk of accidents at hazardous production facilities in the Russian Federation and in foreign countries. Based on above mentioned analysis method of calculation fire risk is offered. That method taking into account the usage of powder fire extinguishers at production facilities of the oil and gas complexes, where flammable and combustible liquids, with a flash point higher than the ambient temperature. The method is based on the determination of the useful effect of the usage of powder fire extinguishers in the potential area of the oil spill, where it is suitable to use the specified type of fire extinguishers.

The article provide an example of determining the potential risk at a pumping station for deliver diesel fuel, taking into account the application and without it.

*The object of the research* is the effectiveness of the usage of powder fire extinguishers in extinguishing fires in oil product spills at oil and gas production facilities.

*The subject of the research* is improvement of the fire risk calculation methodology taking into account the effectiveness of the usage of powder fire extinguishers at the production facilities of the oil and gas complex.

*Methods.* The general scientific methods of research (system analysis, probability theory, heat exchange, formalization, statistics and analogy) are applied when the work is performing.

*Results:*

1. Through the article the effectiveness of the usage of powder fire extinguishers to extinguish the fire of the spill of oil products at the initial stage of its development is determined.

2. A methodology for assessing fire risk at production facilities of the oil and gas complex has been developed, taking into account the use of powder fire extinguishers.

*Scope of application of the results:* the results obtained make it possible to increase the reliability of the safety assessment of oil and gas facilities by taking into account the effectiveness of powder fire extinguishers in case changes are made in legal acts and methods for calculating fire risk.

*Conclusions.* The application of the proposed methodology for calculating fire risk, considering the usage of powder extinguishers at oil and gas facilities, increases the objectivity of fire hazard analysis of protection facilities, which is justified by calculating the contribution from the use of fire extinguishers in calculating fire risk.

**Keywords:** fire risk; fire extinguisher; efficiency of fire extinguishers; oil and gas facilities; safety.

## REFERENCES

1. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 1 August 2017).
2. *Annual report on the activities of the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision in 2011–2016*. Moscow, ZAO NTTs PB Publ., 2012–2017 (in Russian).
3. Soares C. G. (ed.). *Safety and reliability of industrial products, systems and structures*. London, CRC Press / Taylor & Francis Group, 2010. 472 p. DOI: 10.1201/b10572.
4. *Rules of fire prevention regime in the Russian Federation* (ed. on 01.03.2017). RF Government Decree on 25.04.2012 No. 390 (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/70170244/#help> (Accessed 1 August 2017).

5. VPPB 01-04-98. *Fire prevention rules for enterprises and organizations of the gas industry*. Moscow, IRTs Gazprom Publ., 1998 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200001963> (Accessed 1 August 2017).
6. *Methods for determining estimated fire risk values at production facilities*. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404 (ed. on 14.12.2010) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (Accessed 5 June 2017).
7. BS 7974:2001. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice*. London, UK, British Standards Institution, 2001. 34 p. DOI: 10.3403/02396195.
8. *NFPA 551. Guide for the evaluation of fire risk assessments*. Quincy, MA, NFPA, 2016.
9. PD 7974-7:2003. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7. Probabilistic risk assessment*. London, UK, British Standards Institution, 2003.
10. *Posobiye po opredeleniyu raschetnykh velichin pozharnogo riska dlya proizvodstvennykh ob'ektov* [The manual for determining the calculated values of fire risk for production facilities]. Moscow, VNIPO Publ., 2012. 242 p. (in Russian).
11. Venttsel E. S. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. 6<sup>nd</sup> ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1999. 576 p. (in Russian).
12. Samoylenko N. I., Kuznetsov A. I., Kostenko A. B. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Kharkov, NTMT Publ., 2009. 200 p. (in Russian).
13. Jaynes E. T. *Probability theory. The logic of science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2003. DOI: 10.1017/CBO9780511790423.
14. Karpov A. P. *Ognetushiteli. Ustroystvo, ispytaniya, vybor, primeneniye, tekhnicheskoye obsluzhivaniye i perezaryadka* [Fire extinguishers. Device, testing, selection, use, maintenance and recharging]. Moscow, VNIPO Publ., 2003. 267 p. (in Russian).
15. Bridgman P. W. *Dimensional analysis*. New Haven, Yale University Press, 1932 (Russ. ed.: Bridgman P. Analiz razmernostey. Izhevsk, NITs "Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika" Publ., 2001. 148 p.).
16. Shishmarev V. Yu. *Nadezhnost tekhnicheskikh sistem* [Reliability of technical systems]. Moscow, Izdatelskiy tsentr "Akademiya", 2010. 304 p. (in Russian).
17. Billinton R., Allan R. N. *Reliability evaluation of power systems*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, Plenum Press, 1996. 614 p.
18. Pavlovskaya O. O., Aleshin E. A. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Fundamentals of reliability theory]. Chelyabinsk, YuUrGU Publ., 2007. 56 p. (in Russian).
19. Matveychuk F. A. (ed.). *Spravochnik po issledovaniyu operatsiy* [Directory of operations research]. Moscow, Voenizdat Publ., 1979. 368 p. (in Russian).

**For citation:** Kozhevnikov D. F., Novikov V. R., Polyakov A. S., Kleymenov A. V. Method for calculating fire risk taking into account the use of fire extinguishers on production facilities with liquid motor fuel. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 27–34 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.27-34.

**А. В. МАТВЕЕВ**, канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп. 149; e-mail: fcvega\_10@mail.ru)

**А. В. МАКСИМОВ**, канд. техн. наук, преподаватель кафедры прикладной математики и информационных технологий, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп. 149; e-mail: he1nze@mail.ru)

**О. В. ЩЕРБАКОВ**, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель наук РФ, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

**А. С. СМИРНОВ**, д-р техн. наук, профессор, Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 121352, г. Москва, Давыдовская ул., 7)

УДК 621.642.88

## МЕТОД ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА РИСКА НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Исследованы существующие практические методы оценки достоверности количественного анализа рисков на объектах нефтегазовой отрасли. Предложено использовать метод, основанный на обеспечении качества самого процесса анализа риска. Выявлены факторы, обеспечивающие качество процесса анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли. Представлен метод оценки достоверности количественного анализа риска, основанный на применении наивного байесовского классификатора. Предложен подход к оценке качества работы самого классификатора, основанный на перекрестной проверке с последовательным исключением одного экземпляра данных обучения.

**Ключевые слова:** количественный анализ риска; достоверность; надежность; наивный байесовский классификатор; данные обучения; риск.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.01.35-49

### Введение

Количественный анализ рисков для поддержки принятия решений, связанных с безопасностью [1–3], широко применяется в различных областях, например в химической промышленности [4], атомной промышленности [5, 6], на магистральном трубопроводном транспорте [7] и т. п. Особый интерес представляют вопросы анализа и оценки рисков на особо опасных объектах нефтегазовой промышленности как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации [8–10]. И в российской, и в международной практике разработаны различные методы для количественного анализа рисков [11, 12].

В то же время существуют проблемы, связанные с оценкой достоверности результатов, полученных при количественном анализе рисков. Остается открытым вопрос, в какой степени лицо, принимающее решение (ЛПР), может доверять полученным результатам. Этот вопрос имеет первостепенное значение в практике проектирования и эксплуатации объектов нефтегазовой отрасли. Только достоверные и надежные результаты, полученные в процессе коли-

чественного анализа рисков, могут быть полезны для поддержки принятия решений.

Данная совокупность факторов определила актуальность проводимых исследований, а цель настоящей работы состоит в повышении объективности при оценке достоверности результатов количественного анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли. Достижение данной цели предполагает решение задачи анализа существующих подходов к оценке, выявления их достоинств и недостатков, а также непосредственно разработки формального и количественного метода оценки достоверности результатов количественного анализа риска.

### Анализ подходов к оценке достоверности результатов количественного анализа риска

Вопросы оценки достоверности результатов количественного анализа рисков были рассмотрены в работах [9, 13, 14]. Исследования показали, что существующие методы оценки достоверности коли-

чественного анализа рисков могут быть в целом разделены на четыре группы, в основе которых лежит:

- 1) сравнение с контрольными параметрами (сравнение с эталоном);
- 2) проверка в реальных условиях (эксперимент с реальным объектом нефтегазовой отрасли или сравнение со статистическими данными);
- 3) независимая экспертная оценка;
- 4) обеспечение качества при анализе рисков.

Методы первой группы основаны на сравнении нескольких результатов, полученных при проведении параллельных анализов рисков для определения достоверности. Как правило, при сопоставлении рассматриваются два критерия — надежность и достоверность [14]. Например, достоверность количественного анализа рисков на хранилище аммиака оценивается путем сравнения семи контрольных параметров [15].

Вторая группа методов проверки достоверности предполагает оценку достоверности результатов, полученных при количественном анализе риска, путем сравнения их с реальными данными либо со статистическими данными, касающимися работы исследуемой системы или процесса. Типичный пример представлен в [16], где статистические данные о реальных авариях и происшествиях сравниваются с индексами риска, рассчитанными при использовании конкретного метода количественного анализа риска.

В независимых методах экспертной оценки процесс количественного анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли и его результаты рассматриваются независимыми экспертами, которые оценивают их, основываясь на ряде заранее определенных требований к качеству, и определяют таким образом надежность количественного анализа риска.

Методы обеспечения качества предполагают контроль качества в каждой фазе процесса количественного анализа риска, что в целом обеспечивает качество всего процесса анализа риска [14]. Именно применение данного подхода дает достоверные и надежные результаты оценки риска. Например, авторы [17] обобщили общие недостатки на каждом этапе процесса количественного анализа риска и разработали подход, основанный на контрольных списках, для обеспечения его качества.

Среди четырех рассмотренных групп методы первых двух основываются на использовании ретроспективных данных, т. е. оценки достоверности устанавливаются в основном путем сопоставления конечных результатов анализа с результатами уже апробированных и достоверных методов или имеющимися статистическими данными по объектам нефтегазовой отрасли. Методы, основанные на независимой экспертной оценке и обеспечении каче-

ства при анализе рисков, напротив, являются проактивными в том смысле, что вместо прямой оценки конечных результатов они оценивают структуру и потенциальные возможности самого процесса количественного анализа риска (с точки зрения его качества).

Первые две группы методов в некотором смысле предпочтительнее по причине того, что они более объективны, поскольку позволяют оценивать достоверность результатов анализа непосредственно путем сравнения с имеющимися объективными данными. Однако существует два основных недостатка, которые могут ограничить применимость данных методов. Во-первых, эти методы очень часто сложно реализовать из-за требований к определенному объему ретроспективной статистической информации или к наличию достоверных и надежных результатов при использовании других апробированных процедур количественного анализа риска. Во-вторых, эти методы при анализе рисков позволяют учитывать данные только по уже реализованным факторам, приводящим к авариям и нештатным ситуациям на объектах. В этих условиях ограничивается возможность совершенствования процесса количественного анализа риска в целях повышения достоверности и надежности путем включения в процесс анализа каких-то новых факторов риска и явлений, по которым фактически отсутствуют статистические данные [18]. В связи с этим предложено акцент в проводимых исследованиях сделать на так называемых проактивных (упреждающих) методах количественного анализа риска.

В данных методах достоверность оценивается (фактически прогнозируется) на основе возможностей (с точки зрения качества) процесса количественного анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли. При разработке таких методов возникает два главных вопроса:

- как оценить потенциальные возможности (с точки зрения качества) процесса количественного анализа риска;
- как соотнести достоверность количественного анализа риска с его потенциальными возможностями?

В литературе довольно подробно изучен первый вопрос: основные факторы, влияющие на качество процесса количественного анализа риска, рассмотрены, например, в работе [12]. Второму вопросу в научной литературе уделено значительно меньше внимания. В большинстве существующих исследований (например, [19]) соотношение между достоверностью и качеством процесса анализа риска оценивается по принципу “черного ящика”, т. е. не рассматривается внутренняя структура процесса анализа, а проводится лишь анкетирование экс-

пертов, в результате которого осуществляется ранжирование значимости каждого отдельного элемента (задачи) процесса анализа. На основе полученных результатов дается оценка достоверности результатов анализа риска. Как правило, она формируется на основе простой процедуры, основанной на оценке согласованности мнений экспертов по каждому из критериев и сравнении количества согласованных критериев качества с определенным пороговым значением. Такой процесс обладает высокой степенью субъективизма и непрозрачен в плане формирования выводов об оценке достоверности результатов анализа [18]. Для повышения объективности при оценке достоверности необходим формальный и количественный метод, разработка которого и составляет цель исследований, представленных в настоящей статье.

Фактически оценка достоверности может рассматриваться как проблема распознавания образов, основанного на прецедентах [20]. Решение данной задачи предлагается осуществлять путем построения классификатора, являющегося отображением характеристик и потенциальных возможностей процесса количественного анализа риска на показатель достоверности его результатов и основанного на наборе данных обучения, которые предварительно оцениваются экспертами. Для решения задачи классификации предлагается использовать наивный байесовский классификатор (НБК) для формальной и количественной оценки достоверности и надежности количественного анализа риска.

НБК — простой, но достаточно эффективный классификатор, широко применяемый в приложениях машинного обучения [21], например для классификации текста [22]. Данный классификатор основан на использовании теоремы Байеса со строгими (наивными) предположениями о независимости признаков. В зависимости от точной природы вероятностной модели НБК может обучаться очень эффективно. Во многих практических приложениях для оценки параметров для наивных байесовых моделей используют метод максимального правдоподобия. Несмотря на наивный вид и, несомненно, очень упрощенные условия, НБК часто значительно эффективнее при решении многих сложных прикладных задач. Достоинством НБК является сравнительно небольшое количество данных для обучения, необходимых для оценки параметров, требуемых для классификации.

Следует отметить, что в решении поставленной задачи оценки качества результатов количественного анализа риска классификатор используется не напрямую для оценки качества, а скорее, как инструмент для построения критериев оценки, на осно-

ве которых определяются достоверность и надежность.

## Теоретические основы оценки достоверности количественного анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли

### 1. Структура оценки

Рассмотрим предлагаемый подход к оценке достоверности количественного анализа риска на основе классификации с использованием НБК. Пусть  $D$  — показатель достоверности количественного анализа риска. Предполагаем, что  $D$  определяется качеством процесса анализа риска. Типовой процесс количественного анализа риска можно условно разбить на восемь подпроцессов [23] (рис. 1). Качественное выполнение каждого из данных подпроцессов является необходимым условием для обеспечения качества всего процесса анализа риска в целом. Предлагаемая структура оценки достоверности каждого из подпроцессов количественного анализа риска представлена на рис. 2.

Достоверность и надежность количественного анализа риска формируются под воздействием следующих пяти базовых критериев (признаков)  $x_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ):

- полнота учета всех опасных факторов  $x_1$ ;
- полнота охвата потенциальных сценариев аварий  $x_2$ ;
- целесообразность применения конкретных методов анализа  $x_3$ ;
- достоверность и точность совокупности исходных данных  $x_4$ ;
- точность используемых методов при расчете показателей риска  $x_5$ .

Данные критерии отражают совокупность требований к достоверности и надежности в процессе количественного анализа риска. Значение каждого критерия количественно оценивается дискретной величиной, принимаемой из трех возможных значений, каждое из которых соответствует значению лингвистической переменной: неудовлетворительно ( $x_i = 0$ ), приемлемо ( $x_i = 1$ ) и удовлетворительно ( $x_i = 2$ ) — на основе множества заранее предопределенных правил преобразования исходной экспертной информации в значения лингвистической переменной (табл. 1). Байесовский подход основывается на предположении о существовании некоторого распределения вероятностей для каждого критерия.

Показатель достоверности  $D$  также было предложено разделить на три дискретных уровня:  $D \in \{0, 1, 2\}$ . Качественное описание данных уровней представлено в табл. 2. Таким образом, проблема оценки достоверности была сформулирована как проблема классификации: учитывая значения пяти

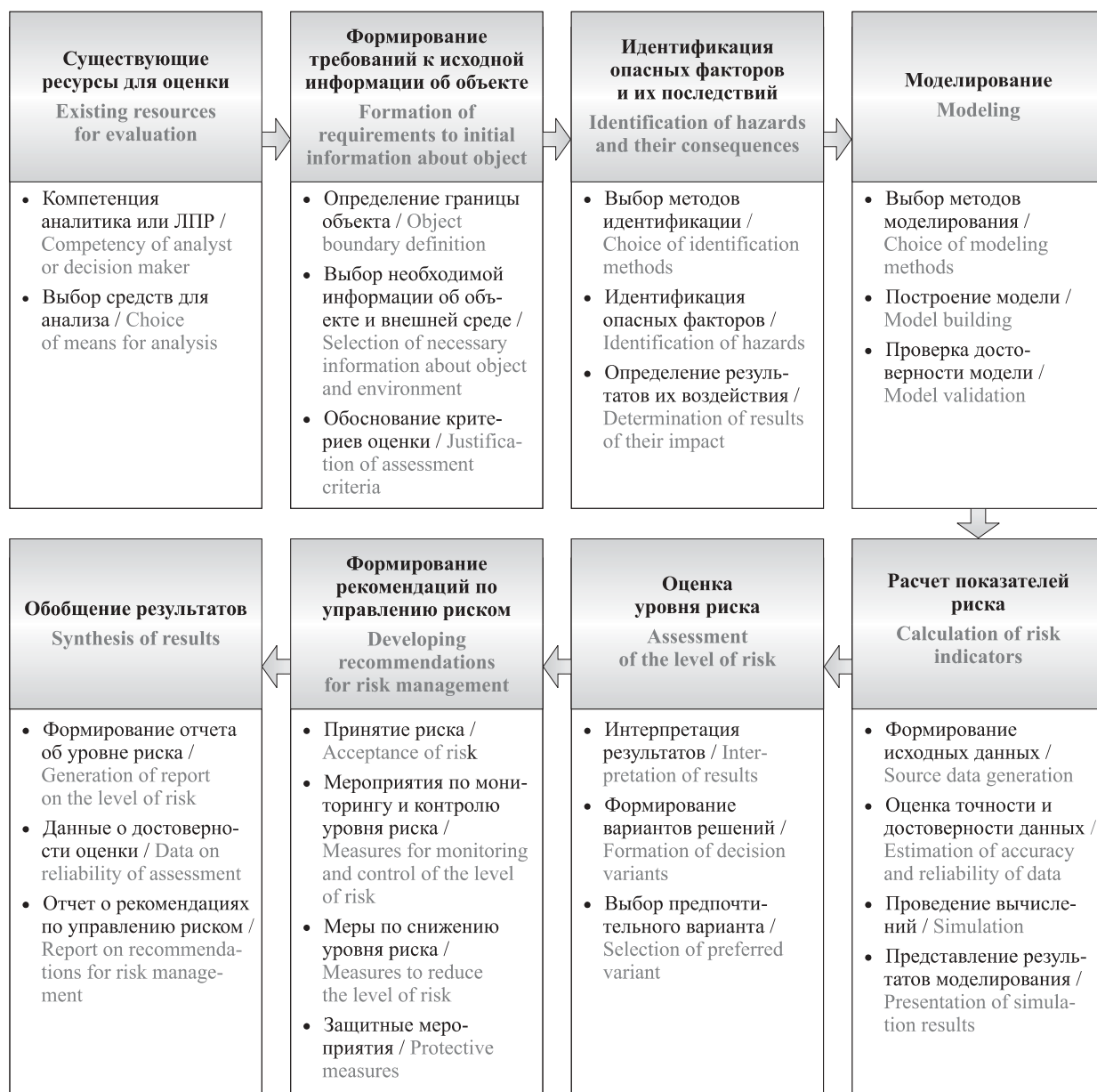


Рис. 1. Типовая схема количественного анализа риска

Fig. 1. Typical scheme for quantitative risk analysis

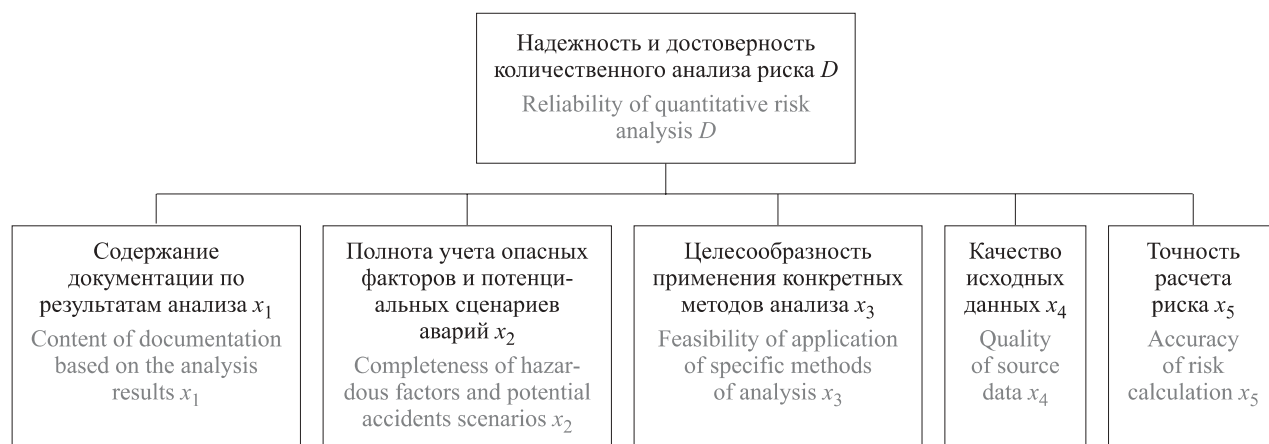


Рис. 2. Структура оценки надежности и достоверности количественного анализа риска

Fig. 2. Structure of reliability assessment and quantitative risk analysis

Таблица 1. Правила кодирования показателей базовых критериев

Table 1. Rules for coding indicators of basic criteria

| Значение / Value                                                                                     | Описание / Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Правила кодирования показателя <math>x_1</math> / Rules for coding indicator <math>x_1</math></b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $x_1 = 0$                                                                                            | <p>В документации по анализу риска отсутствуют следующие элементы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>цели и задачи количественного анализа риска;</li> <li>полное описание исследуемого объекта;</li> <li>обоснование используемых методов анализа;</li> <li>исходные данные, необходимые для анализа и расчетов;</li> <li>отчет о результатах анализа</li> </ul> <p>The documentation for risk analysis does not contain the following elements:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>goals and objectives of quantitative risk analysis;</li> <li>complete description of the object under study;</li> <li>justification of the methods of analysis used;</li> <li>initial data necessary for analysis and calculation;</li> <li>report on the results of the analysis</li> </ul>                                                                                                                                                          |
| $x_1 = 1$                                                                                            | <p>В документации по анализу риска присутствует, по крайней мере, один из следующих недостатков:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>описания задач являются неполными или двусмысленными;</li> <li>описание исследуемого объекта не в полной мере понятно;</li> <li>обоснование применяемых методов анализа расплывчато и неочевидно;</li> <li>представленные результаты являются неполными (например, не учитываются факторы неопределенности) или неоднозначными</li> </ul> <p>The documentation for risk analysis has at least one of the following drawbacks:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>descriptions of tasks are incomplete or ambiguous;</li> <li>description of the investigated object is not fully understandable;</li> <li>rationale for the methods of analysis used is vague and not obvious;</li> <li>reported results are incomplete (for example, uncertainties are not taken into account) or ambiguous</li> </ul> |
| $x_1 = 2$                                                                                            | <p>Отчетная документация по анализу риска содержит полную и достаточную информацию, в том числе отсутствуют недостатки, перечисленные для уровня <math>x_1 = 1</math></p> <p>Reporting documentation on risk analysis contains complete and sufficient information, including no shortcomings listed for level <math>x_1 = 1</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Правила кодирования показателя <math>x_2</math> / Rules for coding indicator <math>x_2</math></b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $x_2 = 0$                                                                                            | <p>Не идентифицированы некоторые опасные факторы, а также сценарии аварий и происшествий:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>проверка показала, что некоторые поражающие факторы не учитываются;</li> <li>отсутствует обоснование рассмотренных аварийных и нештатных ситуаций;</li> <li>проверка показала, что некоторые критические сценарии аварийных ситуаций отсутствуют</li> </ul> <p>Some dangerous factors have not been identified, as well as scenarios of accidents and incidents:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>verification showed that some damaging factors are not taken into account;</li> <li>there is no justification for the considered emergency and abnormal situations;</li> <li>verification showed that some critical emergency scenarios are missing</li> </ul>                                                                                                                                             |
| $x_2 = 1$                                                                                            | <p>Проверка показала, что все опасные поражающие факторы и критические сценарии аварий и происшествий идентифицированы, но проверка проводится на основе экспертной оценки, а не использования реальных статистических данных</p> <p>The audit showed that all dangerous damaging factors and critical scenarios of accidents and incidents were identified, but the verification is carried out on the basis of expert judgment, and not the use of real statistics</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $x_2 = 2$                                                                                            | <p>Проверка показала, что все критические сценарии аварий и происшествий идентифицированы и их достоверность подтверждается использованием реальных статистических данных</p> <p>The audit showed that all critical scenarios of accidents and incidents identified and their validity is confirmed by the use of real statistics</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Правила кодирования показателя <math>x_3</math> / Rules for coding indicator <math>x_3</math></b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $x_3 = 0$                                                                                            | <p>Выбранные методы анализа не удовлетворяют требованиям проводимого исследования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>используемые методы не учитывают некоторых особенностей реального процесса, протекающего на объекте исследования (например, не учитывают динамику изменения во времени определенных характеристик, рассматривая их стационарными, и т. д.);</li> <li>методы требуют больше ресурсов (например, количества исходных данных, вычислительной мощности и т. д.), чем может быть предоставлено</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

| Значение / Value                                                                                     | Описание / Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                      | <p>The chosen methods of analysis do not meet the requirements of the research:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• methods used do not take into account some features of the actual process occurring at the research object (for example, do not take into account the dynamics of the change in time of certain characteristics, considering them stationary, etc.);</li> <li>• methods require more resources (for example, amount of raw data, processing power, etc.) than can be provided</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| $x_3 = 1$                                                                                            | <p>Особенности выбранного метода анализа удовлетворяют требованиям поставленной проблемы, но вывод о его использовании составлен на основе экспертного опыта</p> <p>The features of the chosen method of analysis satisfy the requirements of the problem posed, but conclusion about its use is compiled on the basis of expert experience</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| $x_3 = 2$                                                                                            | <p>Выбранные методы анализа удовлетворяют требованиям проводимого исследования и уже были успешно апробированы при анализе риска на подобных объектах</p> <p>The selected methods of analysis satisfy the requirements of the conducted research and have already been successfully tested in the risk analysis of similar objects</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Правила кодирования показателя <math>x_4</math> / Rules for coding indicator <math>x_4</math></b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| $x_4 = 0$                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Отсутствует достаточная база статистических данных (недостаток репрезентативности данных), и исходные данные определены исключительно на основе экспертных оценок;</li> <li>• в вводимых экспертами исходных данных не учитывается их эпистемическая неопределенность [24, 25];</li> <li>• есть существенные погрешности в измерении исходных данных</li> <li>• There is no sufficient statistical database (lack of data representativeness), and the baseline data are determined exclusively on the basis of expert assessments;</li> <li>• the initial data input by experts does not take into account their epistemic uncertainty [24, 25];</li> <li>• there are significant errors in the measurement of the original data</li> </ul> |
| $x_4 = 1$                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Отсутствует достаточная база статистических данных (недостаток репрезентативности данных);</li> <li>• исходные данные основаны на экспертных оценках с полным учетом эпистемической неопределенности;</li> <li>• есть незначительные погрешности в измерении исходных данных</li> <li>• There is no sufficient statistical database (lack of data representativeness);</li> <li>• baseline data is based on expert estimates with full consideration of epistemic uncertainty;</li> <li>• there are insignificant errors in the measurement of the initial data</li> </ul>                                                                                                                                                                   |
| $x_4 = 2$                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Для анализа рисков использованы исходные данные, сформированные на основе достаточно большого объема эмпирической информации;</li> <li>• отсутствуют погрешности в измерении исходных данных</li> <li>• For the analysis of risks, the initial data generated based on a sufficiently large amount of empirical information are used;</li> <li>• there are no errors in the measurement of the initial data</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Правила кодирования показателя <math>x_5</math> / Rules for coding indicator <math>x_5</math></b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| $x_5 = 0$                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Процесс расчета риска содержит серьезные ошибки;</li> <li>• возникла рассогласованность в результатах расчетов с результатами известных значений (отклонения результатов от эталона)</li> <li>• The process of calculating the risk contains serious errors;</li> <li>• there was a mismatch in the results of calculations with the results of known values (deviation of results from the standard)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $x_5 = 1$                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Процесс расчета риска не содержит серьезных ошибок;</li> <li>• могут существовать только погрешности самого процесса расчета (например, точность моделирования по методу Монте-Карло или использования каких-либо численных методов);</li> <li>• неопределенности, вызванные погрешностями, не моделируются</li> <li>• The process of calculating the risk does not contain serious errors;</li> <li>• there can only exist errors in the calculation process itself (for example, the accuracy of the Monte Carlo simulation or the use of any numerical methods);</li> <li>• uncertainties due to errors are not modeled</li> </ul>                                                                                                        |
| $x_5 = 2$                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Могут существовать только погрешности самого процесса расчета (например, точность моделирования по методу Монте-Карло или использования каких-либо численных методов);</li> <li>• неопределенности, вызванные погрешностями, корректно смоделированы</li> <li>• There can only exist errors in the calculation process itself (for example, the accuracy of the Monte Carlo simulation or the use of any numerical methods);</li> <li>• uncertainties caused by errors, correctly modeled</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                         |

**Таблица 2.** Уровни достоверности и надежности количественного анализа риска**Table 2.** Levels of reliability and quantitative risk analysis

| Уровень достоверности<br>Level of reliability                                                    | Описание / Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $D = 0$ : ненадежный<br>$D = 0$ : unreliable                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Результат количественного анализа риска объекта некачественный;</li> <li>никакие дальнейшие суждения о достоверности количественного анализа риска невозможны;</li> <li>результаты количественного анализа риска не должны использоваться для поддержки принятия решений</li> <li>The result of a quantitative risk analysis of the object is substandard;</li> <li>no further judgment on the reliability of quantitative risk analysis is possible;</li> <li>the results of a quantitative risk analysis should not be used to support decision making</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| $D = 1$ : надежный, но не в полной мере достоверный<br>$D = 1$ : reliable but not fully reliable | <ul style="list-style-type: none"> <li>Результат количественного анализа риска качественный, но: <ul style="list-style-type: none"> <li>некоторые критические факторы и явления не идентифицируются и не анализируются;</li> <li>или некоторые важные риски неточно определены.</li> </ul> </li> <li>Результаты такого количественного анализа риска могут использоваться для поддержки принятия некоторых решений, но не для принятия критически важных для безопасности объектов решений</li> <li>The result of a quantitative risk analysis is qualitative, but: <ul style="list-style-type: none"> <li>some critical factors and phenomena are not identified and analyzed;</li> <li>or some important risks are not accurately determined.</li> </ul> </li> <li>The results of such a quantitative risk analysis can be used to support the adoption of certain decisions, but not to make decisions critical to the security of objects</li> </ul> |
| $D = 2$ : надежный и достоверный<br>$D = 2$ : reliable and veracious                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Результат количественного анализа риска качественный: <ul style="list-style-type: none"> <li>все критические факторы и явления идентифицированы и учитываются при анализе риска;</li> <li>все важные риски (и их неопределенности) точно определены.</li> </ul> </li> <li>Результаты такого количественного анализа риска могут использоваться для поддержки принятия важных решений</li> <li>The result of quantitative risk analysis is qualitative: <ul style="list-style-type: none"> <li>all critical factors and phenomena are identified and taken into account in risk analysis;</li> <li>all important risks (and their uncertainties) are precisely defined.</li> </ul> </li> <li>The results of this quantitative risk analysis can be used to support the adoption of important decisions</li> </ul>                                                                                                  |

критериев  $x_1, x_2, \dots, x_5$ , определить соответствующий уровень для надежности и достоверности  $D$ .

Следует отметить, что и структура оценки, представленная на рис. 2, и правила кодирования (см. табл. 1 и 2) построены в общем виде для демонстрации возможностей предлагаемого подхода. Безусловно, они могут быть адаптированы экспертами в практическом применении при решении каких-либо специфических частных задач.

## 2. Оценка надежности, основанная на наивном байесовском классификаторе

Сначала рассмотрим общий подход к классификации на основе НБК, а затем опишем метод на основе НБК, предлагаемый непосредственно для оценки достоверности и надежности количественного анализа риска объектов нефтегазовой отрасли.

### 2.1. Наивный байесовский классификатор

Определим  $x = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in X$  как входной вектор признаков функции классификации, где  $X$  — пространство признаков. Соответственно, классификатор (НБК) — это функция  $f_{\text{НБК}}$ , которая отобра-

жает входной вектор признаков  $x \in X$  в выходное значение класса  $D \in \{0, 1, \dots, K\}$ . Обычно вектор признаков также принимает дискретные значения, т. е.  $x_i \in \{0, 1, \dots, n_i\}$ , где  $i = 1, 2, \dots, n$ . Учитывая характеристики вектора  $x$ , НБК классифицирует принадлежность объекта к соответствующему классу с максимальной апостериорной вероятностью [26]:

$$D = \arg \max_D P(D|x), \quad (1)$$

где  $P(D|x)$  — апостериорная вероятность данного класса  $D$  (т. е. данного значения достоверности и надежности количественного анализа риска) при данном значении признака  $x$ .

Значение вероятности в (1) рассчитывается на основе применения теоремы Байеса со строгими (наивными) предположениями о независимости [27]:

$$P(D|x) = \frac{P(x, D)}{P(x)} = \frac{P(x|D)P(D)}{\sum_{D=0}^K P(x|D)P(D)}, \quad (2)$$

где  $P(D)$  — априорная вероятность данного класса;

$P(x|D)$  — правдоподобие, т. е. вероятность данного значения признака при данном классе;

$P(x)$  — априорная вероятность данного значения признака;

$P(x, D)$  — апостериорная вероятность данного значения признака при данном классе.

С условием независимости признаков для классификации действует апостериорное правило принятия решения. В этом случае числитель в (2) преобразуется к виду:

$$P(x|D)P(D) = P(D) \prod_{i=1}^n P(x_i|D). \quad (3)$$

Заметим, что знаменатель в (2) одинаковый для всех возможных значений  $D$ . Соответственно, классификатор — это функция, определенная следующим образом:

$$D = \arg \max_D P(D) \prod_{i=1}^n P(x_i|D). \quad (4)$$

Для применения НБК вероятности  $P(D)$  и  $P(x_i|D)$  в (4) необходимо оценить на основе данных обучения. Данные обучения представляют собой наборы образцов, для которых известны значения признаков и соответствие при этом  $D$  определенному классу. Предположим, что у нас есть  $N_{\text{обуч}}$  данных для обучения, обозначенных  $(x^{(q)}, D^{(q)})$ ,  $q = 1, 2, \dots, N_{\text{обуч}}$ . В этом случае требуемые вероятности аппроксимируются относительными частотами из набора данных обучения:

$$P(D = k) = \frac{\sum_{q=1}^{N_{\text{обуч}}} I(D^{(q)} = k)}{N_{\text{обуч}}}; \quad (5)$$

$$P(x_i = j|D = k) = \frac{\sum_{q=1}^{N_{\text{обуч}}} I(x_i^{(q)} = j, D^{(q)} = k)}{\sum_{q=1}^{N_{\text{обуч}}} I(D^{(q)} = k)}, \quad (6)$$

где  $I(\dots)$  — индикаторная (характеристическая) функция;  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 0, 1, \dots, n_i$ ;  $k = 0, 1, \dots, K$ .

Существует одна потенциальная проблема при оценке вероятностей с использованием выражений (5) и (6). Предположим, что данный класс  $k$  и значения какого-либо признака  $j$  никогда не встречаются вместе в наборе данных обучения, тогда оценка, основанная на вероятностях, будет равна нулю, т. е.

$$\sum_{q=1}^{N_{\text{обуч}}} I(x_i^{(q)} = j, D^{(q)} = k) = 0. \text{ В этом случае } P(x_i = j|D = k) = 0, \text{ что согласно (3) приводит к } P(x|D) = 0$$

независимо от значений вероятностей для других признаков. Таким образом, при перемножении нулевая оценка приведет к потере информации о других вероятностях. Данная проблема достаточно часто

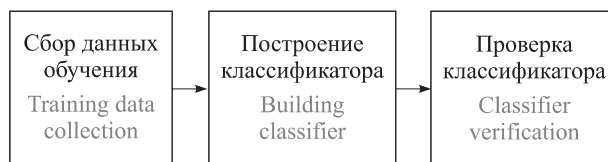


Рис. 3. Схема наивного байесовского классификатора для оценки достоверности количественного анализа риска

Fig. 3. The scheme of a naive Bayesian classifier for assessing the reliability of a quantitative risk analysis

встречается в практических задачах классификации, поэтому предпочтительно вводить небольшие поправки во все оценки вероятностей так, чтобы никакая вероятность не была строго равна нулю. Чтобы избежать данной проблемы, при оценке  $P(D = k)$  и  $P(x_i = j|D = k)$  часто применяется метод сглаживания по Лапласу [27]:

$$P(D = k) = \frac{\sum_{q=1}^{N_{\text{обуч}}} I(D^{(q)} = k) + \alpha}{N_{\text{обуч}} + (K + 1)\alpha}; \quad (7)$$

$$P(x_i = j|D = k) = \frac{\sum_{q=1}^{N_{\text{обуч}}} I(x_i^{(q)} = j, D^{(q)} = k) + \alpha}{\sum_{q=1}^{N_{\text{обуч}}} I(D^{(q)} = k) + (n_i + 1)\alpha}, \quad (8)$$

где  $\alpha \in (0, 1]$  — коэффициент корректировки, введенный для компенсации возможных нулевых значений вероятностей;

$(K + 1), (n_i + 1)$  — число возможных значений соответственно для  $D$  и признака  $x_i$ .

## 2.2. Оценка достоверности результатов анализа риска

Рассмотрим возможность применения НБК для разработки классификатора при решении задачи оценки достоверности, структура которой представлена на рис. 2. В этом случае у нас есть пять признаков, т. е.  $x = [x_1, x_2, \dots, x_5]$ . Каждый признак имеет три дискретных уровня:  $x_i \in \{0, 1, 2\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, 5$ . Следовательно,  $X = \{0, 1, 2\} \times \dots \times \{0, 1, 2\} = \{0, 1, 2\}^5$ . Достоверность  $D$  может принадлежать одному из трех возможных классов (см. табл. 2), т. е.  $D \in \{0, 1, 2\}$ . Процесс классификации осуществляется в три этапа (рис. 3).

### Сбор данных обучения

Байесовский подход основан на теореме, утверждающей, что если плотности распределения значений каждого из признаков известны, то искомый алгоритм можно выписать в явном аналитическом виде. Более того, этот алгоритм оптимален, т. е. обладает минимальной вероятностью ошибок. На практике плотности распределения чаще всего неизвестны.

Их необходимо оценивать (восстанавливать) по обучающей выборке. В результате байесовский алгоритм перестает быть оптимальным, так как восстановить плотность по выборке можно лишь с некоторой погрешностью.

Поскольку  $X = \{0, 1, 2\}^5$ , то вектор признаков  $x$  может принимать  $3^5 = 243$  разных значения. Часть из них, обозначаемая  $x^{(q)}$ ,  $q = 1, 2, \dots, N_{\text{обуч}}$ , выбирается в качестве образцов обучения. Достоверность этих учебных образцов, обозначенных  $D^{(q)}$ ,  $q = 1, 2, \dots, N_{\text{обуч}}$ , оценивается экспертами согласно описанию, представленному в табл. 1. Затем данные обучения используются для построения НБК, который далее заменяет эксперта при оценке достоверности количественного анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли.

Поскольку НБК обучается на данных обучения на основе экспертной оценки, важно, чтобы используемые данные обучения в полной мере охватывали все пространство признаков. С другой стороны, хочется максимально сократить количество данных обучения, поскольку зачастую процесс сбора данных для обучения является весьма трудозатратным и требует много времени. План обучения должен быть составлен таким образом, чтобы собранные данные обучения были одинаково распределены и представляли все пространство  $X$ .

Другой вопрос, который необходимо учитывать при разработке схемы сбора данных обучения, — это размер выборки  $N_{\text{обуч}}$ . Большое значение  $N_{\text{обуч}}$  повысило бы эффективность разработанного классификатора с точки зрения его точности. С другой стороны, большое количество данных обучения  $N_{\text{обуч}}$  трудозатратно при сборе данных (экспертам придется оценивать слишком много сценариев). Следовательно, необходимо найти какой-то компромисс при определении количества данных обучения  $N_{\text{обуч}}$ .

#### Построение классификатора

Структурная схема построения НБК представлена на рис. 4. На этапе подготовки размер выборки данных обучения и схемы их сбора определяются с использованием методов, описанных выше. Затем данные обучения ( $x^{(q)}$ ,  $D^{(q)}$ ),  $q = 1, 2, \dots, N_{\text{обуч}}$  обрабатываются экспертами по правилам кодирования (см. табл. 2). На этапе обучения классификатор строится путем оценки  $P(D)$  и  $P(x_i|D)$  из данных обучения с использованием соответственно выражений (7) и (8). На этапе оценки построенный НБК применяется для замены роли экспертов и определения достоверности результатов нового количественного анализа риска. При рассмотрении структуры оценки надежности и достоверности анализа риска значения признаков определяются сначала на основе правил кодирования, приведенных в табл. 2. В ко-



**Рис. 4.** Схема построения НБК для оценки достоверности количественного анализа риска

**Fig. 4.** Scheme of NBC construction for assessing the reliability of quantitative risk analysis

нечном счете достоверность и надежность результатов анализа риска устанавливаются на основе построенного классификатора согласно выражению (4).

#### Проверка классификатора

На практике размер выборки данных обучения, доступных для построения НБК, может оказаться незначительным, что приведет к снижению точности классификатора. Если НБК недостаточно точен, то, по всей вероятности, он не сможет корректно “имитировать” поведение эксперта при оценке достоверности. Поэтому нам необходимо рассмотреть вопрос о проверке разработанного НБК, т. е. убедиться в том, что классификатор может адекватно отражать мнение экспертов.

Тестирование классификатора можно проводить на основе перекрестной проверки (кросс-валидация, cross-validation) метода оценки качества классификатора и его поведения на независимых данных [28–30]. При оценке классификатора имеющиеся в наличии данные разбиваются на  $k$  частей. Затем на  $(k - 1)$  частях данных производится обучение классификатора, а оставшаяся часть данных участвует в тестировании. Процедура повторяется  $k$  раз; в итоге каждая из  $k$  частей данных используется для тестирования. В результате получается оценка качества разработанного классификатора с наиболее равномерным использованием имеющихся данных.

Частным случаем является “скользящий контроль”, или перекрестная проверка, с последовательным исключением одного экземпляра данных (leave-

oneout CV, LOOCV), т. е.  $k = n$ . При этом строится  $n$  моделей по  $(n - 1)$  выборочным значениям, а исключенный экземпляр данных каждый раз используется для расчета ошибки при классификации. В [31, 32] теоретически обосновано применение “скользящего контроля” и показано, что если исходные выборки независимы, то средняя ошибка перекрестной проверки дает несмещенную оценку ошибки классификации.

Точность результатов классификации измеряется вероятностью ( $P_D$ ) того, что классификатор правильно определил достоверность и надежность результатов анализа риска. “Скользящий контроль” используется в работе для оценки  $P_D$ , где один экземпляр данных обучения остается для проверки классификатора, а остальные используются для обучения. Алгоритм реализации данного метода изображен на рис. 5, где  $(x^{(q)}, D^{(q)})$ ,  $q = 1, 2, \dots, N_{\text{обуч}}$  являются данными обучения,  $f_{\text{НБК}, i}$  — классификатор, полученный после удаления данных обучения  $(x^{(i)}, D^{(i)})$ ,  $P_D$  — оценка точности классификации.

## Заключение

1. Несмотря на существующий арсенал различных методов количественного анализа рисков как в российской, так и в международной практике, зачастую остается открытым вопрос оценки достоверности, а также возможности доверия со стороны лиц, принимающих управленческие решения, полученным результатам.

2. Предлагается подход к оценке надежности и достоверности количественного анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли, основанный на системе классификации, а именно на применении наивного байесовского классификатора, который позволяет самостоятельно давать экспертную оценку достоверности и надежности результатов анализа риска, заменяя при этом самого эксперта.

3. К достоинствам применения НБК для оценки достоверности количественного анализа риска можно отнести то, что классификация выполняется достаточно легко и быстро, превосходит многие другие алгоритмы и при этом требует меньшего объема обучающих данных. НБК очень хорошо работает с категориальными признаками, что как раз и нашло свое отражение в настоящей работе.

4. Основным ограничением применения НБК является предположение о том, что все критерии при классификации независимы друг от друга. На практике, однако, между критериями могут существовать различные зависимости. Учет данных зависимостей будет рассмотрен в следующих исследованиях. Кроме того, оценки критериев  $x_1, x_2, \dots, x_5$  связаны со множеством субъективных суждений,

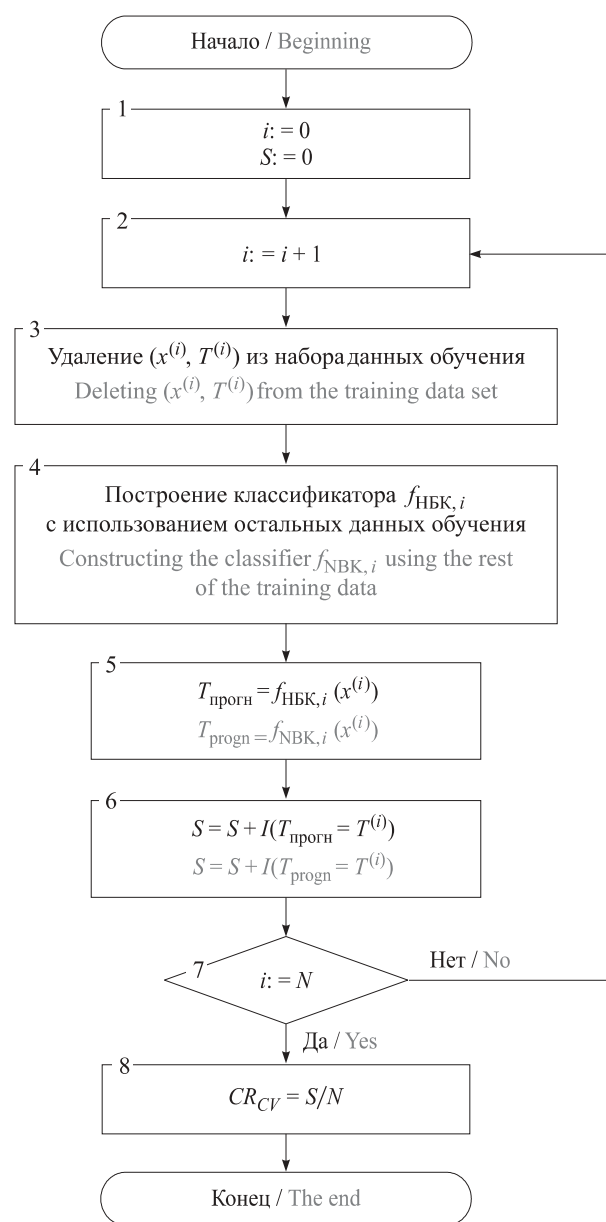


Рис. 5. Алгоритм перекрестной проверки классификатора  
Fig. 5. Algorithm for cross checking the classifier

а значит существуют неопределенности при их оценке. Учет данных неопределенностей также будет рассмотрен в будущих исследованиях.

\*\*\*

*Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-01085.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грановский Э. А. Техническое регулирование безопасности промышленных объектов: анализ и количественная оценка риска // Безопасность в техносфере. — 2016. — Т. 5, № 5. — С. 54–63. DOI: 10.12737/24152.
2. Можяев А. С., Демидов Ю. Ф. Алгоритмические основы технологии автоматизированного структурно-логического моделирования в задачах системного анализа надежности, безопасности и риска // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах : труды Международной научной школы, 2002. — СПб. : Бизнес-пресса, 2002. — 12 с.
3. Белов П. Г. Стратегическое планирование развития и обеспечения национальной безопасности России: прогнозирование и снижение риска чрезвычайных ситуаций // Национальная безопасность и стратегическое планирование. — 2015. — № 1(9). — С. 47–58.
4. Егоров А. Ф., Савицкая Т. В., Михайлова П. Г., Курбатова М. Г. Модели оценки риска возникновения аварий на технологическом оборудовании с опасными химическими веществами. Ч. 1. Теоретические основы // Безопасность в техносфере. — 2008. — № 5. — С. 4–13.
5. Острейковский В. А., Смолин Д. И. Количественная оценка вероятностей исходных событий при анализе риска от эксплуатации атомных станций // Вестник кибернетики. — 2013. — № 12. — С. 130–137.
6. Матвеев А. В., Иванов М. В., Шевченко А. Б. Аналитическая модель системы управления пожарной безопасностью АЭС // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2010. — Т. 6. — № 113. — С. 91–95.
7. Серенков П. С., Воронин А. Н., Литский В. К. Анализ отечественных и зарубежных методик оценки риска в магистральном трубопроводном транспорте // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки. — 2013. — № 8. — С. 83–88.
8. Абдрахманов Н. Х., Абдрахманова К. Н., Ворохобко В. В., Абдрахманов Р. Н., Басырова А. Р. Моделирование сценариев развития аварийных ситуаций для нестационарных опасных производственных объектов нефтегазового комплекса // Нефтегазовое дело : электронный научный журнал. — 2015. — № 5. — С. 516–531. DOI: 10.17122/ogbus-2015-5-516-531.
9. Малиев Е. М., Шиянов А. В. Исследование достоверности количественного метода анализа рисков для оценки состояния уровня промышленной безопасности объектов нефтеперерабатывающей промышленности // Актуальные вопросы современной науки : материалы II Международной научно-практической конференции. — Чистополь : Бриг, 2015. — С. 34–39.
10. Сидорова М. Н., Хасбутдинова Е. В. Современные методы качественного и количественного анализа рисков в нефтегазовой отрасли // Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании : тезисы докладов IX Международной школы-конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых (3–7 октября 2016 г., г. Уфа) / Отв. ред. Б. Н. Хабибуллин, Е. Г. Екомасов, Р. М. Ахметханов. — Уфа : РИЦ БашГУ, 2016. — С. 350–352.
11. Лесных В. В., Алексеева В. А., Литвин Ю. В. Современное состояние проблемы анализа организационных рисков: терминология, классификация, методы качественной и количественной оценки // Управление риском. — 2015. — № 1(73). — С. 14–25.
12. Абдрахманов Н. Х., Шайбаков Р. А., Марков А. Г. Анализ современного уровня развития методологии системных рисков при проектировании и эксплуатации опасных производственных объектов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2015. — № 57. — С. 789–795.
13. Aven T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation // European Journal of Operational Research. — 2016. — Vol. 253, Issue 1. — P. 1–13. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.12.023.
14. Aven T., Heide B. Reliability and validity of risk analysis // Reliability Engineering and System Safety. — 2009. — Vol. 94, Issue 11. — P. 1862–1868. DOI: 10.1016/j.ress.2009.06.003.

15. Lauridsen K., Christou M., Amendola A., Markert F., Kozine I., Fiori M. Assessing the uncertainties in the process of risk analysis of chemical establishments: Part 1 and 2 // Proceedings of European Conference on Safety and Reliability (ESREL). — Torino, Italy : Politecnico di Torino, 2001. — P. 592–606.
16. Sornette D., Maillart T., Kröger W. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems // International Journal of Disaster Risk Reduction. — 2013. — Vol. 6. — P. 59–66. DOI: 10.1016/j.ijdr.2013.04.002.
17. Rouhiainen V. QUASA: A method for assessing the quality of safety analysis // Safety Science. — 1992. — Vol. 15, Issue 3. — P. 155–172. DOI: 10.1016/0925-7535(92)90002-h.
18. Kirchsteiger C. On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 1999. — Vol. 12, Issue 5. — P. 399–419. DOI: 10.1016/S0950-4230(99)00012-1.
19. Pinto A., Ribeiro R. A., Nunes I. L. Ensuring the quality of occupational safety risk assessment // Risk Analysis. — 2013. — Vol. 33, Issue 3. — P. 409–419. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2012.01898.x.
20. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания. — 4-е изд. — М. : Высшая школа, 2004. — 262 с.
21. Асминг В. Э., Кременецкая Е. О., Виноградов Ю. А., Федоров А. В. О применении наивных байесовских классификаторов в сейсмологии // Сейсмические приборы. — 2015. — Т. 51, № 4. — С. 29–40.
22. Гулин В. В. Сравнительный анализ методов классификации текстовых документов // Вестник Московского энергетического института. — 2011. — № 6. — С. 100–108.
23. Матвеев А. В. Системное моделирование управления риском возникновения чрезвычайных ситуаций : дис. ... канд. техн. наук. — СПб. : СПб УГПС МЧС России, 2007. — 150 с.
24. Попова О. А. Анализ новых подходов к представлению неопределенности в данных для крупномасштабных систем // Управление развитием крупномасштабных систем : материалы Восьмой международной конференции (29 сентября – 1 октября 2015 г., г. Москва) : в 2 т. / Под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. — М. : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2015. — Т. 2. — С. 385–387.
25. Ferson S. RAMAS Risk Calc 4.0 Software: Risk assessment with uncertain numbers. — Boca Raton, Florida : Lewis Publishers, 2002.
26. Rish I. An empirical study of the naive Bayes classifier // Workshop on empirical methods in artificial intelligence, IJCAI. — 2001. — Vol. 3. — P. 41–46. URL: <https://www.cc.gatech.edu/~isbell/reading/papers/Rish.pdf> (дата обращения: 10.11.2017).
27. Narayanan V., Arora I., Bhatia A. Fast and accurate sentiment classification using an enhanced Naive Bayes model // Intelligent Data Engineering and Automated Learning — IDEAL 2013. — Berlin, Heidelberg : Springer, 2013. — P. 194–201. DOI: 10.1007/978-3-642-41278-3\_24.
28. Шитиков В. К., Мاستицкий С. Э. Классификация, регрессия и другие алгоритмы Data Mining с использованием R. — Тольятти, Лондон, 2017. — 351 с. URL: <http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/R/DM/DM.R.pdf> (дата обращения: 10.11.2017).
29. Krstajic D., Buturovic L., Leahy D., Thomas S. Cross-validation pitfalls when selecting and assessing regression and classification methods // Journal of Cheminformatics. — 2014. — Vol. 6, Issue 1. — 15 p. DOI: 10.1186/1758-2946-6-10.
30. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The elements of statistical learning. Data Mining, Inference, and Prediction. — 2<sup>nd</sup> ed. — New York : Springer, 2009. — 745 p. DOI: 10.1007/978-0-387-84858-7.
31. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / Под ред. В. Н. Вапника. — М. : Наука, 1984. — 816 с.
32. Raghuraj R., Lakshminarayanan S. Variable predictive models — A new multivariate classification approach for pattern recognition applications // Pattern Recognition. — 2009. — Vol. 42, No. 1. — P. 7–16. DOI: 10.1016/j.patcog.2008.07.005.

Материал поступил в редакцию 21 ноября 2017.

**Для цитирования:** Матвеев А. В., Максимов А. В., Щербаков О. В., Смирнов А. С. Метод оценки достоверности количественного анализа риска на объектах нефтегазовой отрасли // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 1. — С. 35–49. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.35-49.

## METHOD OF ESTIMATION FOR THE RELIABILITY OF QUANTITATIVE RISK ANALYSIS ON OBJECTS OF OIL AND GAS INDUSTRY

**MATVEEV A. V.**, Candidate of Technical Sciences, Docent of Department of Applied Mathematics and Information Technology, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: fcvega\_10@mail.ru)

**MAKSIMOV A. V.**, Candidate of Technical Sciences, Lecturer of Department of Applied Mathematics and Information Technology, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: he1nze@mail.ru)

**SHCHERBAKOV O. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Applied Mathematics and Information Technology, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

**SMIRNOV A. S.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Emercom of Russia (Davydkovskaya St., 7, Moscow, 121352, Russian Federation)

### ABSTRACT

Despite the existing arsenal of various methods of quantitative risk analysis both in Russian and international practice, problems arise related to the assessment of the reliability of the results obtained during their practical application, including at oil and gas facilities. The question remains to what extent the decision-maker can trust the results. The article considers the problem of assessing the reliability of quantitative risk analysis at oil and gas facilities. Existing methods for estimating reliability are investigated. It is proposed to use an approach based on ensuring the quality of the process of risk analysis itself. To increase the objectivity in assessing the reliability of the results of a risk analysis, a formal quantitative method was proposed. The article introduces 5 criteria that ensure the quality of the process of risk analysis at oil and gas facilities. A system of rules for coding the values of each of the basic criteria into three discrete qualitative levels was developed. The solution of the task was accomplished by constructing a classifier in which the reliability index of a quantitative risk analysis of oil and gas industry objects is a function of the values of the basic criteria. The reliability of the risk analysis was evaluated on the basis of a naive Bayesian classifier that takes into account the values of the five basic criteria in the evaluation framework. The results of the classifier work are based on a variety of training data that were previously evaluated by experts. The article suggests an approach to the assessment of the quality of the classifier itself, based on a cross-checking with successive exclusion of one copy of the training data. The merits of using the naive Bayesian classifier for assessing the reliability of quantitative risk analysis in oil and gas industry objects include the fact that the classification is carried out quite easily and quickly, surpasses many other algorithms, and requires a smaller amount of training data. A naive Bayesian classifier works very well with categorical features, which is exactly what is reflected in this article.

**Keywords:** quantitative risk analysis; reliability; trustworthiness; naive Bayesian classifier; training data; risk.

### REFERENCES

1. Granovskiy E. A. Technical regulation of safety of industrial facilities: analyses and risk quantitative assessment. *Bezopasnost v tekhnosfere / Safety in Technosphere*, 2016, vol. 5, no. 5, pp. 54–63 (in Russian). DOI: 10.12737/24152.
2. Mozhaev A. S., Demidov Yu. F. Algorithmic foundations of automated structural-logical modeling technology in problems of system analysis of reliability, safety and risk. In: *Modelirovaniye i analiz bezopasnosti i riska v slozhnykh sistemakh* [Modeling and analysis of safety and risk in complex systems]. Proceedings of the International Scientific School. Saint Peterburg, Biznes-pressa Publ., 2002. 12 p. (in Russian).

3. Belov P. G. Strategic planning of development and ensuring national security of Russia: forecasting and decrease in risk of emergency situations. *Natsionalnaya bezopasnost i strategicheskoye planirovaniye / National Security and Strategic Planning*, 2015, no. 1(9), pp. 47–58 (in Russian).
4. Egorov A. F., Savitskaya T. V., Mikhaylova P. G., Kurbatova M. G. Models for assessing the risk of accidents on process equipment with hazardous chemicals. Part 1. Theoretical basis. *Bezopasnost v tekhnosfere / Safety in Technosphere*, 2008, no. 5, pp. 4–13 (in Russian).
5. Ostrejkovsky V. A., Smolin D. I. The quantification for probabilities of the initial events under consideration of operational risk at nuclear power stations. *Vestnik kibernetiki / Proceedings in Cybernetics*, 2013, no. 12, pp. 130–137 (in Russian).
6. Matveev A. V., Ivanov M. V., Shevchenko A. B. Analytical model of a control system of fire safety on the atomic power stations. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye / St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems*, 2010, vol. 6, no. 113, pp. 91–95 (in Russian).
7. Serenkov P. S., Voronin A. N., Lipsky V. K. The analysis of domestic and foreign methods of risk assessment in main pipeline transport. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F: Stroitelstvo. Prikladnyye nauki / Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences*, 2013, no. 8, pp. 83–88 (in Russian).
8. Abdrakhmanov N. Kh., Abdrakhmanova K. N., Vorohobko V. V., Abdrakhmanov R. N., Basyrova A. R. Modeling of scenarios of development of emergencies for non-stationary hazardous production facilities of an oil and gas complex. *Elektronnyy nauchnyy zhurnal "Neftegazovoye delo" / Electronic scientific Journal "Oil and Gas Business"*, 2015, no. 5, pp. 516–531 (in Russian). DOI: 10.17122/ogbus-2015-5-516-531.
9. Maliev E. M., Shiyarov A. V. Investigation of the reliability of a quantitative risk analysis method for assessing the state of the level of industrial safety of oil refining facilities. In: *Aktualnyye voprosy sovremennoy nauki* [Actual problems of modern science]. Proceedings of II International Scientific and Practical Conference. Chistopol, Brig Publishing House, 2015, pp. 34–39 (in Russian).
10. Sidorova M. N., Khasbutdinova E. V. Modern methods of qualitative and quantitative analysis of risks in the oil and gas industry. In: Khabibullin B. N., Ekomasov E. G., Akhmetkhanov R. M. (resp. eds.). *Fundamentalnaya matematika i yeye prilozheniya v yestestvoznaniy* [Fundamental mathematics and its applications in natural science]. Abstracts of IX International School-Conference for students, graduate students and young scientists (3–7 October 2016, Ufa). Ufa, BSU Publishing center, 2016, pp. 350–352 (in Russian).
11. Lesnykh V. V., Alekseeva V. A., Litvin Yu. V. Current state of organizational risk analysis problem: terms, classification, methods of qualitative and quantitative assessment. *Upravleniye riskom / Risk Management*, 2015, no. 1(73), pp. 14–25 (in Russian).
12. Abdrakhmanov N. Kh., Shaybakov R. A., Markov A. G. The analysis of a modern level of development of methodology of system risks at design and operation of hazardous production facilities. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal) / Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2015, no. 57, pp. 789–795 (in Russian).
13. Aven T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 2016, vol. 253, issue 1, pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.12.023.
14. Aven T., Heide B. Reliability and validity of risk analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 2009, vol. 94, issue 11, pp. 1862–1868. DOI: 10.1016/j.ress.2009.06.003.
15. Lauridsen K., Christou M., Amendola A., Markert F., Kozine I., Fiori M. Assessing the uncertainties in the process of risk analysis of chemical establishments: Part 1 and 2. In: *Proceedings of European Conference on Safety and Reliability (ESREL)*. Torino, Italy, Politecnico di Torino, 2001, pp. 592–606.
16. Sornette D., Maillart T., Kröger W. Exploring the limits of safety analysis in complex technological systems. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2013, vol. 6, pp. 59–66. DOI: 10.1016/j.ijdr.2013.04.002.
17. Rouhiainen V. QUASA: A method for assessing the quality of safety analysis. *Safety Science*, 1992, vol. 15, issue 3, pp. 155–172. DOI: 10.1016/0925-7535(92)90002-h.
18. Kirchsteiger C. On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 1999, vol. 12, issue 5, pp. 399–419. DOI: 10.1016/S0950-4230(99)00012-1.
19. Pinto A., Ribeiro R. A., Nunes I. L. Ensuring the quality of occupational safety risk assessment. *Risk Analysis*, 2013, vol. 33, issue 3, pp. 409–419. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2012.01898.x.

20. Gorelik A. L., Skripkin V. A. *Metody raspoznavaniya. 4-ye izd.* [Recognition methods. 4<sup>th</sup> ed.]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004. 262 p. (in Russian).
21. Asming V. E., Kremenetskaya E. O., Vinogradov Yu. A., Fedorov A. V. On usage of naive Bayesian classifiers in seismology. *Seismicheskiye pribory / Seismic Instruments*, 2015, vol. 51, no. 4, pp. 29–40 (in Russian).
22. Gulin V. V. Comparative analysis of methods for text document classification. *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo instituta / MPEI Vestnik*, 2011, no. 6, pp. 100–108 (in Russian).
23. Matveev A. V. *System modeling of emergency risk management*. Cand. tech. sci. diss. Saint Petersburg, 2007. 150 p. (in Russian).
24. Popova O. A. Analysis of new approaches to presenting uncertainty in data for large-scale systems. In: Vasilyev S. N., Tsvirkun A. D. (eds.). *Upravleniye razvitiyem krupnomasshtabnykh sistem* [Management of the development of large-scale systems]. Proceedings of 8<sup>th</sup> International Conference. Moscow, V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences RAS, 2015, vol. 2, pp. 385–387 (in Russian).
25. Ferson S. *RAMAS Risk Calc 4. 0 Software: Risk assessment with uncertain numbers*. Boca Raton, Florida, Lewis Publishers, 2002.
26. Rish I. An empirical study of the naive Bayes classifier. In: *Workshop on empirical methods in artificial intelligence, IJCAI*, 2001, vol. 3, pp. 41–46. Available at: <https://www.cc.gatech.edu/~isbell/reading/papers/Rish.pdf> (Accessed 10 November 2017).
27. Narayanan V., Arora I., Bhatia A. Fast and accurate sentiment classification using an enhanced Naive Bayes model. In: *Intelligent Data Engineering and Automated Learning — IDEAL 2013*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2013, pp. 194–201. DOI: 10.1007/978-3-642-41278-3\_24.
28. Shitikov V. K., Mastitskiy S. E. *Klassifikatsiya, regressiya i drugiye algoritmy Data Mining s ispolzovaniyem R* [Classification, regression and other Data Mining algorithms using R]. Tolyatti, London, 2017. 351 p. (in Russian). Available at: <http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/R/DM/DM R.pdf> (Accessed 10 November 2017).
29. Krstajic D., Buturovic L., Leahy D., Thomas S. Cross-validation pitfalls when selecting and assessing regression and classification methods. *Journal of Cheminformatics*, 2014, vol. 6, issue 1. 15 p. DOI: 10.1186/1758-2946-6-10.
30. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The elements of statistical learning. Data Mining, Inference, and Prediction*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, Springer, 2009. 745 p. DOI: 10.1007/978-0-387-84858-7.
31. Vapnik V. N. (ed.). *Algoritmy i programmy vosstanovleniya zavisimostey* [Algorithms and programs for recovering dependencies]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 816 p. (in Russian).
32. Raghuraj R., Lakshminarayanan S. Variable predictive models — A new multivariate classification approach for pattern recognition applications. *Pattern Recognition*, 2009, vol. 42, no. 1, pp. 7–16. DOI: 10.1016/j.patcog.2008.07.005.

**For citation:** Matveev A. V., Maksimov A. V., Shcherbakov O. V., Smirnov A. S. Method of estimation for the reliability of quantitative risk analysis on objects of oil and gas industry. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 35–49 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.35-49.

**Д. Г. ПРОНИН**, канд. техн. наук, начальник Управления технического регулирования, ЦНИИП Минстроя России (Россия, 119331, г. Москва, просп. Вернадского, 29; e-mail: pronin.dg@mail.ru)

**Д. В. КОНИН**, канд. техн. наук, заведующий сектором высотных зданий и сооружений Лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, АО "НИЦ "Строительство" (Россия, 109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., 6, корп. 1, e-mail: konden@inbox.ru)

УДК 05.26.03;614.841.33

## ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИХ ОГНЕСТОЙКОСТИ

Рассмотрены предпосылки перехода на применение стальных конструкций при проектировании и строительстве высотных зданий. Приведены примеры пожаров с анализом их последствий для несущих строительных конструкций. Представлены сведения о конструктивных особенностях и результатах расследования причин обрушения башен Всемирного торгового центра в США. Проведено сравнение стальных и железобетонных конструкций при оценке их огнестойкости. Сделаны выводы о возможности применения стальных конструкций при проектировании и строительстве высотных зданий.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность; высотные здания; огнестойкость; несущие конструкции; примеры пожаров; сталежелезобетон.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.01.50-57

### Введение

Небоскреб как тип здания возник в США благодаря внедрению стального проката и созданию конструкции стального каркаса в XIX веке [1], и до настоящего времени в США сталь остается лидирующим материалом несущих конструкций. Здания из железобетона стали активно возводиться лишь после Второй мировой войны, а в первой половине XX века строились эпизодически [2]. Однако даже в США монолитные железобетонные конструкции стали вытеснять стальные при возведении 30–50-этажных зданий.

Несмотря на это требования по обеспечению пожарной безопасности таких зданий до сих пор не разработаны в полном объеме. В первую очередь речь идет о необходимости сохранения основными строительными конструкциями здания несущей способности и, соответственно, о выработке рекомендаций по выбору материала несущих конструкций.

Для решения данного вопроса проведен анализ пожаров и их последствий в зданиях, возведенных с применением стальных и железобетонных конструкций; выполнена оценка нормативных и расчетных особенностей при применении указанных материалов; дан ответ на вопрос, какие преимущества имеют оба материала при строительстве высотных зданий.

### Оценка последствий наиболее значимых пожаров в высотных зданиях

Появление новых возможностей в строительстве высотных сооружений вызвало необходимость выработки новых подходов к обеспечению безопасности людей, находящихся в них, а также к сохранению эксплуатационных свойств зданий в чрезвычайных ситуациях, поскольку их снос или реконструкция сопряжена с гораздо более высокими затратами и сложностями по сравнению с остальными типами зданий.

Наиболее распространенной чрезвычайной ситуацией, которая приводит к повреждению конструкций высотных зданий, является пожар [3]. По данным зарубежной статистики при пожаре в здании высотой более 25 этажей погибает в 3–4 раза больше людей, чем в 9–16-этажном доме [4].

Сравним несколько наиболее значимых пожаров в зданиях с несущими конструкциями из железобетона и стали.

Стальные конструкции без огнезащиты плохо противостоят пожару. На пожаре в 32-этажном офисном здании "Windsor Tower's" высотой 106 м в Мадриде в 2005 г. пожар распространился с 1-го до 32-го этажа. В здании было предусмотрено центральное железобетонное ядро и внешний стальной каркас, который во время пожара из-за отсутствия огнеза-



**Рис. 1.** Здание “Windsor Tower’s” в Мадриде после пожара  
**Fig. 1.** The Windsor Tower’s building in Madrid after a fire

щиты обрушился на шести верхних этажах (рис. 1). Проект здания был выполнен по испанским строительным нормам 1970 г., когда еще не требовалась огнезащита стальных элементов. При этом в выводах, сделанных по результатам исследования данного пожара, указано, что если бы стальные элементы были с огнезащитой, то здание бы не обрушилось [5].

В отличие от мадридского пожара при пожаре в высотном 62-этажном здании в Лос-Анджелесе в 1988 г. благодаря удачной огнезащите несущих элементов, даже при несработавшей спринклерной системе пожаротушения, стальная конструкция небо-

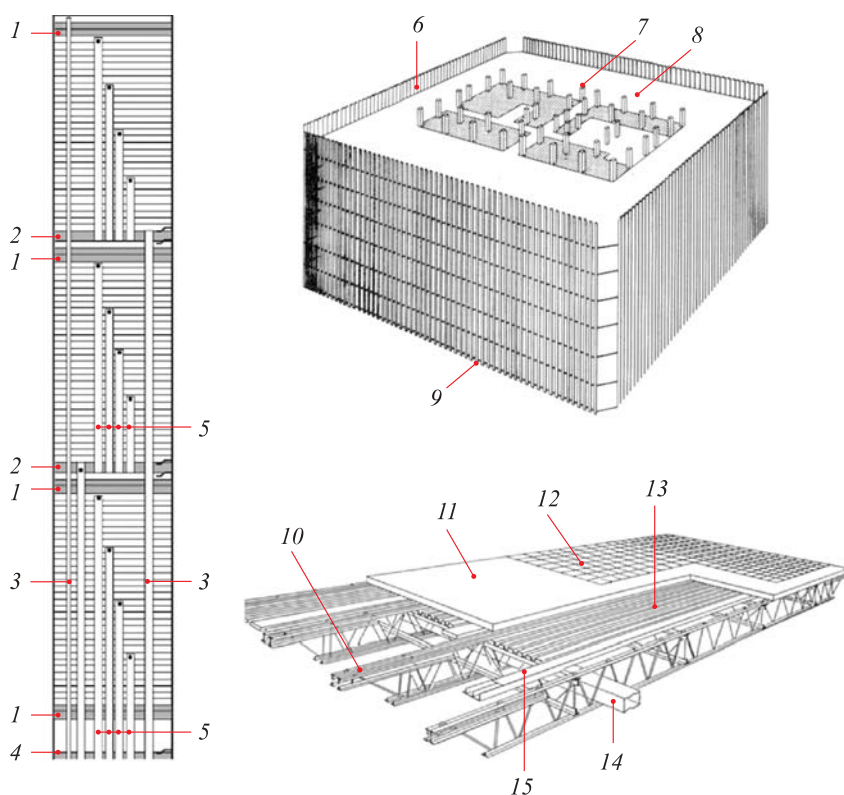
скреба выдержала трехчасовое воздействие пламени.

При теракте и последующем пожаре во Всемирном торговом центре (ВТЦ) 11 сентября 2001 г. в Нью-Йорке (США) погиб 2451 человек, а ущерб составил 33,4 млрд. долл. [6]. Обрушение зданий ВТЦ — это первый случай полного разрушения высотного здания, а также первый известный случай разрушения здания со стальными несущими конструкциями [5].

Башни-близнецы являлись частью ВТЦ, рассчитанного на 50 тыс. рабочих мест и 80 тыс. посетителей ежедневно. Каждая башня имела высоту 411 м, 110 надземных этажей и 6 подземных.

Основная несущая система здания представляла собой “трубу” (наружную оболочку), образованную колоннами наружных стен, установленных с шагом 1,02 м. Все 59 колонн наружного периметра объединены между собой пластинами высотой 1,32 м в уровне каждого этажа. Наружная “труба” воспринимала все нагрузки от ветра и возможных землетрясений и часть вертикальных нагрузок от перекрытий. Внутренние 47 колонн ядра (где располагались лестничные клетки и лифты) воспринимали только вертикальные нагрузки от перекрытий. Вертикальный разрез здания и схематичное расположение колонн показаны на рис. 2.

Стальные конструкции зданий выполнены из 14 различных видов сталей с пределом текучести от 250 МПа (аналог отечественной стали Ст3 или



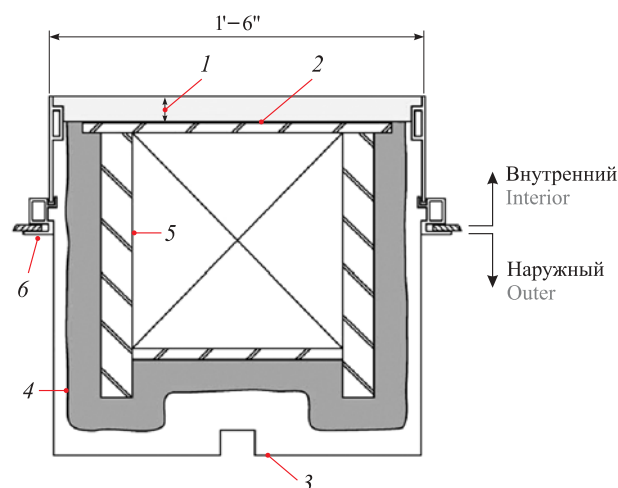
**Рис. 2.** Схематичный разрез здания, схема вертикальных несущих конструкций и конструкция перекрытия [7]: 1 — техническое обслуживание; 2 — смотровая площадка; 3 — лифт-экспресс; 4 — уровень Plaza; 5 — локальный лифт; 6 — наружная поверхность трубы; 7 — центральный стержень колонны; 8 — плита перекрытия; 9 — 59 колонн с каждой стороны; 10 — стержень; 11 — бетон; 12 — покрытие пола; 13 — сквозной настил; 14 — система кондиционирования; 15 — канал для прокладки электрики

**Fig. 2.** Schematic section of the building, scheme of the vertical load-bearing structures and the ceiling structure [7]: 1 — technical services; 2 — skylobby; 3 — express elevators; 4 — Plaza level; 5 — local elevators; 6 — exterior framed-tube; 7 — central core columns; 8 — floor slab; 9 — 59 columns per side; 10 — bar; 11 — concrete; 12 — floor covering; 13 — through decking; 14 — air-conditioning; 15 — electric duct

C245) до 690 МПа (аналог отечественной стали С690). Использование столь значительного количества видов сталей помогло унифицировать размеры конструкций, а главное — размеры их поперечных сечений, а также снизить нагрузки от собственного веса конструкций.

Перекрытие башен выполнено с максимальной унификацией в виде монолитной плиты по стальным фермам высотой 900 мм, разложенным с шагом 2,04 м. Фермы перекрытий, кроме вертикальных нагрузок от собственного веса, людей и оборудования, воспринимали часть ветровой нагрузки и распределяли ее через плиту и горизонтальные связи равномерно по плану здания. Так как при сильных ветрах раскачивание здания могло вызывать дискомфорт у людей (что подтвердилось испытаниями при проектировании), было также решено нижний пояс ферм закрепить к наружным колоннам периметра с помощью вязкоупругих демпферов, которые должны гасить горизонтальные колебания башен. В финальном отчете National Institute of Standards and Technology по результатам расследования [8] авторы не скрывают своего удивления, насколько смелым было решение о внедрении столь большого количества инноваций в конструкцию перекрытий [8].

Для наружной отделки колонн применены алюминиевые панели. Наружная огнезащита выполнена из напыляемого материала, а внутренняя — из твердых вермикулитовых плит, которые одновременно являлись основой для внутренней финишной отделки (рис. 3). Фермы перекрытий защищены напыляемым огнезащитным материалом.



**Рис. 3.** Огнезащита и отделка наружной коробчатой колонны [8]: 1 — покрытие из вермикулита разной толщины; 2 — внутренняя грань; 3 — типовая колонна с алюминиевым покрытием; 4 — напыление огнезащитного состава; 5 — стальная колонна; 6 — стеновая панель с окном

**Fig. 3.** Fire retardance and finishing of outer box column [8]: 1 — vermiculite plaster thickness varies; 2 — interior face; 3 — typical column aluminum cover; 4 — SFRM; 5 — steel column; 6 — window panel

В целом результаты расследования показали высокую надежность запроектированных конструкций, которые смогли выдержать удары самолетов на большой скорости, но в то же время выявили низкую степень активной и пассивной защиты от пожара конструкций и здания в целом.

Установлено, что причиной прогрессирующего обрушения конструкций являлась совокупность конструктивных особенностей здания, а именно:

1) недостаточное количество огнезащитного напыляемого покрытия на конструкциях колонн, а главное на трудных для обработки элементах прутковых ферм и прогонов (значительная часть конструкций была обработана некачественно или не обработана вовсе; конструкции частично утратили огнезащиту в процессе эксплуатации и не были отремонтированы);

2) разрушение значительного количества напыляемого огнезащитного покрытия вследствие удара самолетов, т. е. под действием вибрационной и ударной нагрузки;

3) наличие значительных прогибов и деформаций главных и второстепенных прутковых ферм, их частичное или полное разрушение на этажах, где был сосредоточен удар самолета и последовавший за ним пожар;

4) разрушение на каждом этаже, охваченном пожаром, от 1/3 до 2/3 узлов опирания конструкций ферм на колонны, которые вследствие этого потеряли раскрепление из плоскости;

5) вследствие разрушения и значительных деформаций конструкций перекрытий, а также в силу одновременного нагрева колонн, потерявших раскрепление из плоскости, значительное количество колонн периметра и ядра начали выпучиваться и терять устойчивость, что запустило процесс прогрессирующего обрушения зданий.

В отчете особо отмечается, что если бы значительное количество огнезащитного материала на конструкции сохранилось после удара, то здание с большой вероятностью не обрушилось бы. Ввиду значительных отступлений от проектных решений в части огнезащиты конструкции перекрытий не обладали положенным пределом огнестойкости, равным 2 ч.

На основании всестороннего исследования [8] сформулированы 30 рекомендаций по проектированию зданий и повышению их надежности и безопасности. Заметим, что только 3 из них посвящены улучшению расчетов, 12 — улучшениям проектирования и процедур сертификации огнезащиты и систем защиты от пожара, 7 — улучшению условий эвакуации из зданий и 8 — улучшению организационных мероприятий для специальных служб. Ни в одной из приведенных в [8] рекомендаций

не дается отрицательных оценок тому или иному материалу несущих конструкций или огнезащиты, той или иной несущей системе и конструктивному решению.

Конструкции небоскребов ВТЦ выдержали столкновение с самолетами, но металлический каркас и узлы сочленений конструкций не устояли при пожаре [9]. Самолет, врезавшийся в одно из зданий ВТЦ, был загружен топливом по максимуму [10]. В результате его пролива в здании произошло углеводородное горение с большим тепловыделением, чем то, на которое рассчитана защита типовых зданий. Однако невозможно все здания проектировать с учетом вероятности террористических атак [11].

При этом металл лучше, чем бетон, противостоит динамическим нагрузкам и, например, при внутреннем взрыве (теракте) с большей вероятностью сохранит несущую способность. Например, разрушение конструкций 22-этажного здания апартаментов из сборного железобетона в Лондоне 16 мая 1968 г. привлекло внимание конструкторов к прогрессирующему обрушению. Внешние несущие стены разрушились из-за взрыва газа на 18-м этаже, что привело к прогрессирующему разрушению в угловом отсеке вверх до кровли и вниз до нескольких этажей от уровня земли [12].

Таким образом, существуют и преимущества, и недостатки проектирования конструкций как железобетонных, так и стальных, которые следует рассмотреть подробнее.

### **Расчетные обоснования и нормативные требования к огнестойкости несущих конструкций**

Нормативными требованиями по пожарной безопасности не ограничивается выбор материала, из которого должны быть изготовлены конструкции, в том числе несущие. Главное, чтобы они удовлетворяли нормативным положениям. В Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности [13] предъявляются требования к огнестойкости и классу конструктивной пожарной опасности несущих конструкций. И сталь, и бетон являются негорючими материалами и соответствуют наиболее высокому классу конструктивной пожарной опасности К0.

Что касается огнестойкости, то традиционно считается, что железобетонные конструкции лучше стальных сохраняют свою устойчивость при пожаре. При этом, поскольку сталь считалась менее огнестойким материалом, чем бетон, большинство исследований были сфокусированы именно на ней [14]. Такой однозначный подход не учитывает ряд особенностей.

Несущая способность и стальных, и железобетонных конструкций по огнестойкости (признак R)

определяется временем достижения предельного состояния конструкции при ее испытании по “стандартной” температурной шкале, приведенной в ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75). При этом потеря несущей способности стальной конструкции определяется временем достижения образцом критической температуры [15].

В железобетонных конструкциях, в которых наблюдается хрупкое разрушение по сжато-растянутому бетону (колонны с малым эксцентриситетом, изгибаемые перестроенные элементы), за потерю несущей способности принимается полное разрушение конструкции во время пожара. Изгибаемые, внецентренно сжатые и растянутые с большим эксцентриситетом элементы (которых большинство) характеризуются развитием больших необратимых деформаций арматуры и бетона, и за потерю несущей способности принимается развитие прогиба еще до того, как наступит полное разрушение [15].

Здесь следует отметить очень важный момент: предел огнестойкости железобетонной конструкции наступает при нагреве бетона в расчетном сечении выше его критической температуры, а также при прогреве рабочей арматуры в конструкции до критической температуры [15–17]. Критическая температура нагрева арматуры характеризует стадию образования пластического шарнира в растянутой зоне железобетонных конструкций и наступление предела огнестойкости при огневом воздействии.

Таким образом, и для стальных, и для железобетонных несущих конструкций предел огнестойкости определяется временем достижения критической температуры стальными элементами. Разница заключается только в том, что в железобетоне уже заложен “огнезащитный” слой бетона, а для стальных конструкций его нужно предусматривать отдельно.

При этом, как мы говорили выше, как есть преимущества и недостатки применения железобетона или стали, так есть преимущества и недостатки применения для огнезащиты слоя бетона или специальных средств для огнезащиты. Например, в США до 1970-х годов бетон был наиболее распространенным огнезащитным материалом для стальных конструкций, но на сегодняшний день его вытеснили современные более легкие материалы, в первую очередь напыляемые [11, 18–20].

Преимущества применения железобетона для огнезащиты очевидны, поэтому приведем основные недостатки: увеличение толщины защитного слоя до арматуры приводит к снижению прочностных характеристик и увеличению веса конструкции; при пределах огнестойкости более 150 мин (для зданий выше 100 м требуется 180 мин, а выше 150 м — 240 мин [21]) несущие железобетонные перекрытия и балки, как правило, все равно нуждаются в огне-



**Рис. 4.** Откалывание защитного слоя бетона и оголение арматуры

**Fig. 4.** Spalling of the protective layer of concrete and exposure of reinforcement

защите; присутствующая влага (физически и химически связанная вода) при нагреве начинает преобразовываться в пар и создает внутреннее давление, приводящее к так называемому взрывообразному откалыванию бетона [11, 15, 22–24]. Есть и другие причины откалывания бетона при повышении температуры, но суть понятна: арматура при таком процессе оголяется (рис. 4).

При применении специальных огнезащитных материалов на стальных конструкциях возможно достижение пределов огнестойкости до 240 мин, снижение веса конструкции по сравнению с аналогичным по огнестойкости слоем бетона, отсутствие взрывообразного разрушения. Преимущества более прочного материала — бетона необходимо сравнить с преимуществами огнезащитных материалов, чтобы выбрать приемлемое решение [11].

Таким образом, выбор материала несущих конструкций должен быть основан на современных представлениях об огнезащите с учетом экономической эффективности.

Здесь нельзя не отметить, что традиционные подходы к обеспечению огнестойкости, при которых испытаниям (или расчету) подвергаются отдельные

конструкции, после чего делается вывод об огнестойкости всего здания в целом, а также применение “стандартной” температурной кривой пожара для испытаний не отвечают требованиям по обеспечению пожарной безопасности высотных зданий. Это обусловлено тем, что ввиду сложности доступа пожарных подразделений к очагу пожара и эвакуации людей, а также из-за значительно более трагичных последствий пожаров в них необходимо обеспечить огнестойкость конструкций на все время возможного пожара, рассчитывая при этом реальный температурный режим. Авторами статьи при разработке СП 267.1325800.2016 [21] было включено в него требование, позволяющее оценивать огнестойкость конструкций при развитии реального пожара.

### Заключение

Анализ пожаров, нормативных требований и особенностей расчетов огнестойкости показал, что железобетонные и стальные конструкции имеют как преимущества, так и недостатки. При качественной огнезащите стальные конструкции вполне способны обеспечить необходимую огнестойкость здания и снижение его веса, а также сокращение стоимости строительства. В то же время железобетон традиционно воспринимается как более надежный материал и имеет свои преимущества, в том числе в плане эксплуатации.

В настоящее время ведутся работы по внедрению конструкций из сталежелезобетона, который сочетает в себе преимущества двух материалов. Так, авторами статьи разработан свод правил “Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования” [25], который содержит нормативные положения по расчету на огнестойкость таких конструкций, в том числе сталежелезобетонных плит. Это дает возможность применять их в России, так как при классическом подходе к огнезащите таких плит экономическая эффективность стремилась к нулю. На основании вышесказанного сделан вывод, что работу в данном направлении необходимо продолжить.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуллер В. Конструкции высотных зданий // Пер. с англ. — М. : Стройиздат, 1979. — 248 с.
2. Маклакова Т. Г. Высотные здания. Градостроительные и архитектурно-конструктивные проблемы проектирования : монография. — 2-е изд., доп. — М. : Изд-во АСВ, 2008. — 160 с.
3. Stafford Smith B., Coull A. Tall building structures: analysis and design. — New York : John Wiley & Sons, Inc., 1991. — 537 p.
4. Highrise Fires // U. S. Fire Administration. Topical fire research series. — January 2002. — Vol. 2, Issue 18.
5. Tall concrete buildings subjected to vertically moving fires: A case study approach. — Edinburgh : The University of Edinburgh, 2009.
6. Fire in the United States 1995–2004. — 14<sup>th</sup> ed. — Washington, U. S. : FEMA, August 2007. — 65 p.

7. *Lew H. S., Bukowski R. W., Carino N. J.* Design, construction, and maintenance of structural and life safety systems / NIST NCSTAR 1-1. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster. — Washington : U. S. Government Printing Office, 2005. — 218 p. DOI: 10.6028/nist.ncstar.1-1.
8. *Sunder S. S., Gann R. G., Grosshandler W. L., Lew H. S., Bukowski R. W., Sadek F., Gayle F. W., Gross J. L., McAllister T. P., Averill J. D., Lawson J. R., Nelson H. E., Cauffman S. A.* Final report on the collapse of the World Trade Center towers / NIST NCSTAR 1. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster. — Washington : U. S. Government Printing Office, 2005. — 248 p. DOI: 10.6028/nist.ncstar.1.
9. *Garlock M., Kruppa J., Li G.-Q., Zhao B.* White paper on fire behavior of steel structures / NIST GCR 15-984. — Gaithersburg, Maryland : NIST, 2014. — 20 p. DOI: 10.6028/nist.gcr.15-984.
10. A briefing on the World Trade Center attacks // *Fire Protection Engineering*. — 2002. — No. 13. — P. 46–52.
11. Guidelines for designing fire safety in very tall buildings: Public Review Draft. Society of Fire Protection Engineers, March 2012. — 152 p. URL: [http://inti.gov.ar/cirsoc/pdf/fuego/Public\\_Review\\_Draft.pdf](http://inti.gov.ar/cirsoc/pdf/fuego/Public_Review_Draft.pdf) (дата обращения: 01.12.2017).
12. *Al-Salloum Y. A., Abbas H., Almusallam T. H., Ngo T., Mendis P.* Progressive collapse analysis of a typical RC high-rise tower // *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*. — 2017. — Vol. 29, Issue 4. — P. 313–320. DOI: 10.1016/j.jksues.2017.06.005.
13. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 01.12.2017).
14. *Kotsovinos P.* Analysis of the structural response of tall buildings under multifloor and travelling fires. — Edinburgh : The University of Edinburgh, 2013.
15. *Демехин В. Н., Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Серков Б. Б., Фролов А. Ю., Шурип Е. Т.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре : учебник. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2003. — 656 с.
16. СТО 36554501-006–2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. — М. : НИЦ “Строительство”, 2006. — 79 с. URL: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/249033/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/249033/) (дата обращения: 01.12.2017).
17. *Kowalski R.* The use of Eurocode model of reinforcing steel behavior at high temperature for calculation of bars elongation in RC elements subjected to fire // *Procedia Engineering*. — 2017. — Vol. 193. — P. 27–34. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.06.182.
18. *Razdolsky L.* Structural fire loads: Theory and principles. — New York : McGraw-Hill Education, 2012. — 448 p.
19. Yellow book. Fire protection for structural steel in buildings. — 5<sup>th</sup> ed. — United Kingdom : Association for Specialist Fire Protection, July 2014. — Vol. 1. — 115 p.
20. *Lucherini A., Giuliani L., Jomaas G.* Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions // *Fire Safety Journal*. — 2018. — Vol. 95. — P. 42–50. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.10.004.
21. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456044284> (дата обращения: 01.12.2017).
22. *Милованов А. Ф.* Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. — М. : Стройиздат, 1998. — 304 с.
23. *Phan L. T., McAllister T. P., Gross J. L., Hurley M. J.* (eds.). Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings / NIST Technical Note 1681. — Gaithersburg, Maryland : NIST, 2010. — 200 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1681.
24. *Goode M. G.* (ed.). Fire protection of structural steel in high-rise buildings / NIST GCR 04-872. — Gaithersburg, Maryland : NIST, 2004. — 80 p. URL: <https://www.pdhexpress.com/pdhexpress/pdf/fire-protection-of-structural-steel-in-high-rise-buildings.pdf> (дата обращения: 01.12.2017).
25. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456044285> (дата обращения: 01.12.2017).

Материал поступил в редакцию 10 декабря 2017 г.

**Для цитирования:** *Пронин Д. Г., Конин Д. В.* Проблемы применения стальных и железобетонных несущих конструкций высотных зданий с точки зрения их огнестойкости // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 1. — С. 50–57. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.50-57.

## PROBLEMS OF APPLICATION OF STEEL AND REINFORCED CONCRETE BEARING STRUCTURES FOR TALL BUILDINGS WITH RESPECT TO THEIR FIRE RESISTANCE

**PRONIN D. G.**, Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Technical Regulation, TsNIIP Ministry of Russia (Vernadskogo Avenue, 29, Moscow, 119331, Russian Federation; e-mail: pronin.dg@mail.ru)

**KONIN D. V.**, Candidate of Technical Sciences, Head of Sector of High-Rise Buildings and Constructions of Metal Structures Laboratory, V. A. Kucherenko Central Scientific Research Institute for Building Structures, JSC Research Center of Construction (2-ya Institutskaya St., 6, build. 1, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: konden@inbox.ru)

### ABSTRACT

The most common emergency that causes damage to structures high-rise buildings, is a fire. On the fire in high-rise, the 62-storey building in Los Angeles in 1988, even if not triggered the sprinkler fire-fighting system, thanks to the successful fire protection of load-bearing elements of the steel structure of the skyscraper withstood a three-hour exposure to flame. In a fire at a 106-metre 32-storey office building "Windsor Tower" in Madrid in 2005, an external unprotected steel frame collapsed on 6 upper floors.

The results of the investigation of the consequences of a terrorist attack at the World Trade Center in the US showed high reliability designed steel structures, which could withstand impacts of planes at high speed, but shows a low level is applied to the active and passive protection of structures and buildings from fire. On the basis of a comprehensive study is not given negative evaluations of a particular material of load-bearing structures or fire protection or a carrier system and a constructive solution.

Traditionally it is considered, that concrete construction is better than steel, retain their stability in a fire. This approach does not take into account a number of features. Fire resistance of reinforced concrete structures occurs when the heating of the concrete in the calculated cross section above its critical temperature and when heating of the working bars in the structure to the critical temperature. Thus, for steel structures, and reinforced concrete structures, fire resistance is determined by the time of reaching the critical temperature of steel elements. The only difference is that the concrete already laid, "fire-resistant" layer of concrete, and for steel structures it is necessary to provide separately. With the use of special fire resistant materials to steel structures, it is possible to achieve fire resistance up to 240 minutes, reduced structural weight compared to similar fire-resistant layer of concrete, the lack of explosive destruction.

Thus, the choice of material of supporting structures should be based on modern concepts about fire protection with efficiency in mind.

Currently, work is underway on implementation of structures made of steel-concrete which combines the features of two materials.

**Keywords:** fire safety; high-rise buildings; fire resistance; supporting structures; examples of fires; reinforced concrete.

### REFERENCES

1. Schueller W. *High-rise building structures*. New York, London, Sydney, Toronto, John Wiley & Sons, 1977. 274 p. (Russ. ed.: Schueller W. *Konstruktsii vysootnykh zdaniy*. Moscow, Stroyizdat, 1979. 248 p.).
2. Maklakova T. G. *Vysotnyye zdaniya. Gradostroitelnyye i arkhitekturno-konstruktivnyye problemy proyektirovaniya. Monografiya* [A high-rise building. Urban and architectural-constructive design problems. Monograph]. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Publishing house ASV, 2008. 160 p. (in Russian).
3. Stafford Smith B., Coull A. *Tall building structures: analysis and design*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1991. 537 p.
4. *Highrise Fires*. U. S. Fire Administration. Topical fire research series. January 2002, vol. 2, issue 18.
5. *Tall concrete buildings subjected to vertically moving fires: A case study approach*. Edinburgh, The University of Edinburgh, 2009.
6. *Fire in the United States 1995–2004*. 14<sup>th</sup> ed. Washington, U. S., FEMA, August 2007. 65 p.

7. Lew H. S., Bukowski R. W., Carino N. J. *Design, construction, and maintenance of structural and life safety systems*. NIST NCSTAR 1-1. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster. Washington, U. S. Government Printing Office, 2005. 218 p. DOI: 10.6028/nist.ncstar.1-1.
8. Sunder S. S., Gann R. G., Grosshandler W. L., Lew H. S., Bukowski R. W., Sadek F., Gayle F. W., Gross J. L., McAllister T. P., Averill J. D., Lawson J. R., Nelson H. E., Cauffman S. A. *Final report of the collapse of the World Trade Center towers*. NIST NCSTAR 1. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster. Washington, U. S. Government Printing Office, 2005. 248 p. DOI: 10.6028/nist.ncstar.1
9. Garlock M., Kruppa J., Li G. -Q., Zhao B. *White paper on fire behavior of steel structures*. NIST GCR 15-984. Gaithersburg, Maryland, NIST, 2014. 20 p. DOI: 10.6028/nist.gcr.15-984.
10. A briefing on the World Trade Center attacks. *Fire Protection Engineering*, 2002, no. 13, pp. 46–52.
11. Guidelines for designing fire safety in very tall buildings: Public Review Draft. *Society of Fire Protection Engineers*, March 2012. 152 p. Available at: [http://inti.gov.ar/cirsoc/pdf/fuego/Public\\_Review\\_Draft.pdf](http://inti.gov.ar/cirsoc/pdf/fuego/Public_Review_Draft.pdf) (Accessed 1 December 2017).
12. Al-Salloum Y. A., Abbas H., Almusallam T. H., Ngo T., Mendis P. Progressive collapse analysis of a typical RC high-rise tower. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 2017, vol. 29, issue 4, pp. 313–320. DOI: 10.1016/j.jksues.2017.06.005.
13. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 1 December 2017).
14. Kotsovinos P. *Analysis of the structural response of tall buildings under multifloor and travelling fires*. Edinburgh, The University of Edinburgh, 2013.
15. Demekhin V. N., Mosalkov I. L., Plyusnina G. F., Serkov B. B., Frolov A. Yu., Shurin E. T. *Zdaniya, sooruzheniya i ikh ustoychivost pri pozhare*. Uchebnik [Buildings, constructions and their stability under fire. Textbook]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2003. 656 p. (in Russian).
16. *Organization Standard 36554501-006–2006. Fire resistance and fire safety of reinforced concrete structures*. Moscow, NITs “Stroitelstvo” Publ., 2006. 79 p. (in Russian). Available at: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/249033/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/249033/) (Accessed 1 December 2017).
17. Kowalski R. The use of Eurocode model of reinforcing steel behavior at high temperature for calculation of bars elongation in RC elements subjected to fire. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 193, pp. 27–34. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.06.182.
18. Razdolsky L. *Structural fire loads: Theory and principles*. New York, McGraw-Hill Education, 2012. 448 p.
19. *Yellow book. Fire protection for structural steel in buildings*. 5<sup>th</sup> ed. United Kingdom, Association for Specialist Fire Protection, July 2014, vol. 1. 115 p.
20. Lucherini A., Giuliani L., Jomaas G. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 95, pp. 42–50. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.10.004.
21. *Set of rules 267.1325800.2016. High rise buildings and complexes. Design rules* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456044284> (Accessed 1 December 2017).
22. Milovanov A. F. *Stoykost zhelezobetonnykh konstruksiy pri pozhare* [Durability of reinforced concrete structures in fire]. Moscow, Stroyizdat, 1998. 304 p. (in Russian).
23. Phan L. T., McAllister T. P., Gross J. L., Hurley M. J. (eds.). *Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings*. NIST Technical Note 1681. Gaithersburg, Maryland, NIST, 2010. 200 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1681.
24. Goode M. G. (ed.). *Fire protection of structural steel in high-rise buildings*. NIST GCR 04-872. Gaithersburg, Maryland, NIST, 2004. 80 p. Available at: <https://www.pdhexpress.com/pdhexpress/pdf/fire-protection-of-structural-steel-in-high-rise-buildings.pdf> (Accessed 1 December 2017).
25. *Set of rules 266.1325800.2016. Composite steel and concrete structures. Design rules* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/456044285> (Accessed 1 December 2017).

**For citation:** Pronin D. G., Konin D. V. Problems of application of steel and reinforced concrete bearing structures for tall buildings with respect to their fire resistance. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 50–57 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.50-57.

**В. А. СЕНЧЕНКО**, ведущий специалист по охране труда, Волгоградский центр охраны труда и экологии (Россия, 400066, г. Волгоград, ул. Донецкая, 7, офис 142; e-mail: Vladimir.senchenko@rambler.ru)

**Т. Т. КАВЕРЗНЕВА**, канд. техн. наук, доцент Высшей школы техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: kaverztt@mail.ru)

**Н. В. РУМЯНЦЕВА**, канд. техн. наук, доцент Высшей школы техносферной безопасности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: rumyantseva\_nina@mail.ru)

**И. Л. СКРИПНИК**, канд. техн. наук, доцент, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: ig.skripnick2011@yandex.ru)

**Г. Д. ЛЕЛИКОВ**, руководитель Научно-производственного методического центра "Промышленный альпинизм", Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; e-mail: jet\_biker@mail.ru)

УДК 69.331.438

## ВНЕДРЕНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ АНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ВЫСОТЕ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Проведен анализ состояния производственного травматизма при выполнении работ на высоте с рассмотрением основных причин травмирования работников. Проанализированы имеющиеся средства обеспечения безопасности работ на высоте на опорах воздушных линий (ВЛ) и линий электропередач, использование которых свидетельствует о недостаточной обеспеченности надежной страховки от падения с высоты. Показана перспективность совершенствования анкерного устройства как одного из элементов системы обеспечения безопасности работ на высоте. Предложены усовершенствованная модель траверсы и использование стационарной анкерной точки на верхней части опоры. Показано, что внедрение анкерных устройств при строительстве и реконструкции ВЛ позволит обеспечить безопасность работ на высоте в соответствии с действующим законодательством.

**Ключевые слова:** производственный травматизм; работа на высоте; стационарная анкерная точка; безопасность работ на высоте; безопасность работ на опоре; средство индивидуальной защиты.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.01.58-67

### Введение

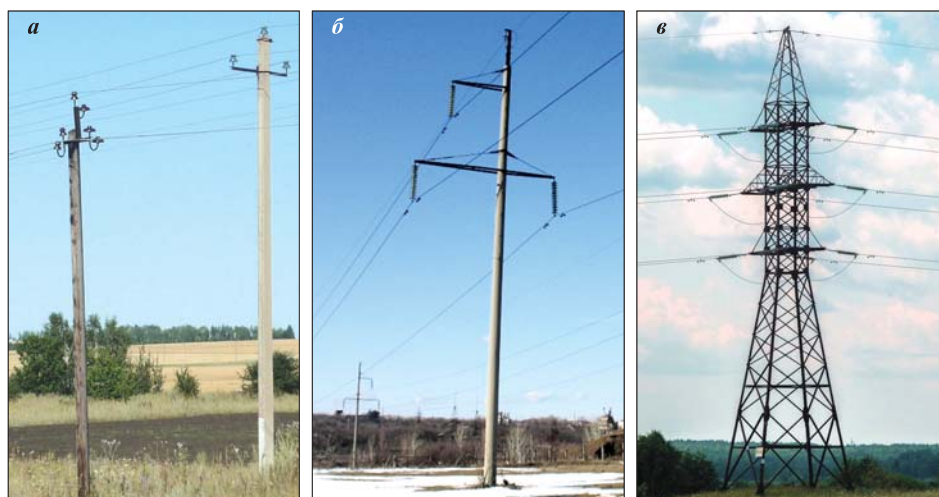
Статистика производственного травматизма в России свидетельствует о том, что работы на высоте относятся к наиболее травмоопасным видам работ, при которых стабильно высока доля тяжелого и смертельного травматизма [1].

Анализ статистических данных показывает, что каждому случаю травматизма предшествуют определенные события или отклонения от нормального течения производственного процесса. Одними из характерных причин несчастных случаев являются: нарушение правил производства работ; неправильные приемы и методы труда; работа на высоте без применения предохранительных средств; несовершенство защитных технических средств и при-

способлений и др. Решение вопросов по снижению травматизма при выполнении работ на высоте и разработка мер по защите работающих на высоте актуальны и по сей день [2, 3].

Известно, что неудовлетворительное состояние условий и безопасности труда является следствием недостаточного внимания работодателей к вопросам охраны труда [4].

Обеспечению безопасности работников на высоте способствует соблюдение правил безопасного ведения работ. Правила по охране труда при работе на высоте (далее — Правила № 155н) [5] подразумевают ряд мероприятий организационного и технического характера, выполнение которых должно обеспечить безопасность работ на высоте, миними-



**Рис. 1.** Некоторые разновидности конструкций опор ВЛ: *а* — опоры линий связи; *б* — опоры линий электропередач; *в* — высоковольтные ЛЭП

**Fig. 1.** Some varieties of support structures: *a* — pillars of communication lines; *b* — power line supports; *v* — high-voltage power lines

зировав количество несчастных случаев, связанных с этими работами.

В связи с тем что основные причины травматизма обусловлены несоблюдением тех или иных требований безопасности, первоочередными мерами по защите работников являются организационные и технические мероприятия, а именно [6]:

- своевременное обучение и проверка знаний правил безопасности и охраны труда работающих;
- контроль за соблюдением безопасности и охраны труда работающими;
- совершенствование технических средств безопасности при работах на высоте.

Осведомленность и знание работниками правил выполнения работ на высоте, а также разработка целенаправленных мероприятий по снижению факторов риска травмирования, устранению обнаруженных недостатков в организации рабочих мест и нарушений охраны труда и их недопущению в дальнейшем [7] обеспечат безопасную работу и сокращение уровня травматизма на рабочих местах.

К техническим мероприятиям, обеспечивающим безопасность работ на высоте, относятся системы обеспечения безопасности работ на высоте, включающие:

- а) анкерное устройство;
- б) привязь (страховочную, для удержания, для позиционирования, для положения сидя);
- в) соединительно-амортизирующую подсистему (стропы, канаты, карабины, амортизаторы, средство защиты втягивающегося типа, средство защиты от падения ползункового типа на гибкой или жесткой анкерной линии).

Таким образом, одним из элементов системы обеспечения безопасности работ на высоте является анкерное устройство.

Техническое обслуживание и ремонт воздушных линий (далее — ВЛ), включающих воздушные линии связи (ВЛС) и воздушные линии электро-

передач (ВЛЭ), — обязательный процесс эксплуатации ВЛ. Воздушные линии связи — это, как правило, невысокие деревянные или железобетонные столбы (рис. 1, *а*). Воздушные линии электропередач низкого и среднего напряжения представляют собой деревянные или чаще железобетонные столбы круглого сечения высотой порядка 10 м (рис. 1, *б*). ВЛЭ напряжением выше среднего (высоковольтные линии электропередач (ЛЭП)) изготавливают из стали, преимущественно из прокатного профиля (рис. 1, *в*). Высота таких конструкций начинается от нескольких десятков метров.

Целью настоящей статьи является повышение безопасности ведения работ на высоте при эксплуатации ВЛС и ЛЭП с помощью стационарных анкерных точек и линий.

Задачами для решения поставленных целей являются: критический анализ мероприятий организационного и технического характера по обеспечению безопасности работ на высоте при эксплуатации ВЛС и ЛЭП и рассмотрение методов по решению выявленных проблем.

### Аналитическая часть

Самый простой способ обслуживания невысоких ВЛ предусматривает использование автоподъемника, но это не всегда возможно (например, при нахождении опоры в труднодоступном месте) и с экономической точки зрения затратно. Поэтому при подъеме на невысокие опоры применяются лестницы или лазы. Для подъема на высоковольтные ЛЭП используется сама конструкция опоры, а в некоторых конструкциях — эксплуатационная лестница.

В соответствии с действующими правилами по охране труда при работе на высоте при подъеме на опору необходимо применять страховочные системы (ГОСТ Р ЕН 363—2007). Верхняя часть опоры ВЛ в РФ не оснащается жесткими анкерными точками для крепления страховочных систем. В насто-

ящее время крепление страховочных систем осуществляется с помощью гибких анкерных точек [8, 9] или специальных соединительных элементов [10]. На российском рынке такие способы предложены рядом компаний, предоставляющих системы безопасности для ведения работ на высоте [11–13].

Недостатком таких технических решений является то, что закрепление опоры ВЛ с помощью гибких анкерных точек не всегда возможно с технической точки зрения [14]:

- опоры ВЛС в верхней части имеют крюки для установки изоляторов и траверсы для крепления линий связи, на которые сползает анкерная петля при надевании ее на опору; при этом ни крюк, ни траверса не рассчитаны на нагрузку, которая согласно правилам по охране труда при работе на высоте должна составлять 22 кН;
- на кабельных опорах ВЛС в верхней части опоры установлен усилитель, на который сползает анкерная петля при надевании ее на опору; при этом крепление усилителя не рассчитано на предельную нагрузку, которая должна составлять 22 кН;
- в верхней точке части опор ВЛЭ расположены изолятор и линия электропередач, поэтому надеть анкерную петлю на такую опору технически невозможно;
- сложно надевать гибкую анкерную петлю на опоры, на которых закреплено множество проводов, а также снимать ее с опор после проведения работ.

Для безопасного подъема на высоковольтные ЛЭП применяется попеременная страховка посредством соединительно-амортизирующей подсистемы (рис. 2). Такая страховка осуществляется непосредственно за конструкцию опоры либо за ступени лестницы, если таковая существует. Однако такое перемещение едва ли можно назвать безопасным, и связано это с несколькими причинами, а именно:

- при подъеме по самой опоре и попеременной страховке за элементы конструкции возникают ситуации, когда работник находится в положении с фактором падения, равным 2. В случае срыва в таком положении под работником в силу особенностей конструкции опоры отсутствует безопасный запас высоты для срабатывания средств защиты;
- при подъеме по лестнице страховка осуществляется за элементы лестницы, которые в этот момент являются анкерными точками и к которым должны предъявляться требования по прочности минимум 22 кН [5]. Проанализировав существующие нормативные документы, регулирующие требования к прочностным характеристикам лестниц\*, можно однозначно сде-



**Рис. 2.** Попеременная страховка с использованием соединительно-амортизирующей подсистемы

**Fig. 2.** Alternate insurance with use of a connection-cushioning subsystem

лать вывод, что ни стойка лестницы, ни ступеньки не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к анкерным устройствам Правилами № 155н [5], и не могут обеспечивать безопасный подъем специалиста на высоту;

- некоторые опоры снабжены одностоечными лестницами, где для удобства подъема в качестве стойки выступает одна из ног опоры. При этом страховка осуществляется так же, как и при подъеме по конструкции. О недостатках данного метода страховки сказано выше, и к этому еще можно добавить соблазн страховки за открытые ступени.

Учитывая перечисленные выше проблемы, в современных условиях при строительстве и реконструкции ВЛС и ЛЭП необходимо предпринимать меры по повышению безопасной эксплуатации воздушных линий. Одной из таких мер является установка на опоры стационарных анкерных точек для крепления страховочных систем и обеспечения безопасности ведения работ на высоте. Подъем по вертикальной лестнице в соответствии с действующими нормативными документами в области выполнения высотных работ необходимо производить при наличии анкерных точек или анкерной линии на пути движения работника.

В Российской Федерации траверса ТН-1 [15] является распространенным устройством для креп-

\* ГОСТ 23120–2016, ГОСТ Р 53276–2009, ГОСТ Р 53275–2009, ГОСТ Р 53254–2009, ГОСТ Р ИСО 14122-3–2009, ГОСТ Р ИСО 14122-4–2009, ГОСТ 26887–86.

ления ВЛЭ. Установка гибких анкерных линий на верхнем конце опоры, оборудованной траверсой конструкции ТН-1, для крепления страховочных систем невозможна, так как в продолжение верхней части опоры расположен изолятор, к которому крепится линия электропередач. Крепить крюк непосредственно за эту траверсу нельзя, так как она не рассчитана на нагрузку 22 кН. В таких случаях при строительстве и реконструкции ВЛ на опоры необходимо устанавливать траверсы, имеющие в своей конструкции жесткие анкерные точки для крепления страховочных систем, чтобы обеспечить безопасность работ на высоте. Нами предложена усовершенствованная модель траверсы ТН-1 (рис. 3) [16]. Металлическая траверса 1 крепится к железобетонной опоре хомутом 2. Посредине траверсы приваривается металлическая пластина 5 с отверстием 6 для крепления средств защиты работающих. Опоры 3 и 4 служат для крепления изоляторов. Пластина имеет диаметр отверстия, достаточный для крепления металлических крюков с гибкой анкерной линией. Пластина должна выдерживать без разрушения нагрузку не менее 22 кН. Хомут для крепления траверсы к опоре ВЛЭ усиливается за счет увеличения сечения металлического профиля, чтобы выдерживать без разрушения суммарную нагрузку, действующую от воздушной линии электропередач, и нагрузку, приложенную к анкерной точке, не менее 22 кН.

Усовершенствованная модель траверсы является простой и надежной конструкцией, выполняющей функцию крепления линии электропередач к железобетонной опоре и имеющей в своем составе анкерную точку для крепления средств защиты работающих от падения с высоты. Данную модель траверсы, отвечающую всем требованиям безопасности, введенным Правилами по охране труда при работе на высоте в 2015 г., целесообразно устанавливать на вновь создаваемых и реконструированных ВЛ. Добавление стационарной анкерной точки в конструкцию траверсы с экономической точки зрения не приведет к сильному удорожанию конструкции, зато обеспечит безопасность работ при обслуживании и ремонте ВЛ.

Для крепления средств защиты работающих на длинномерных высотных опорах [17] универсальной конструкцией для создания анкерной точки на опоре ВЛ является конструкция, представленная на рис. 4.

Конструкция содержит металлический хомут 1 с двумя проушинами для стягивания их болтом 2 и гайкой 4 через шайбу 3. При стягивании болтового соединения конструкция жестко закрепляется на опоре. Хомут может быть выполнен из двух полуколец для закрепления на уже существующей опоре.

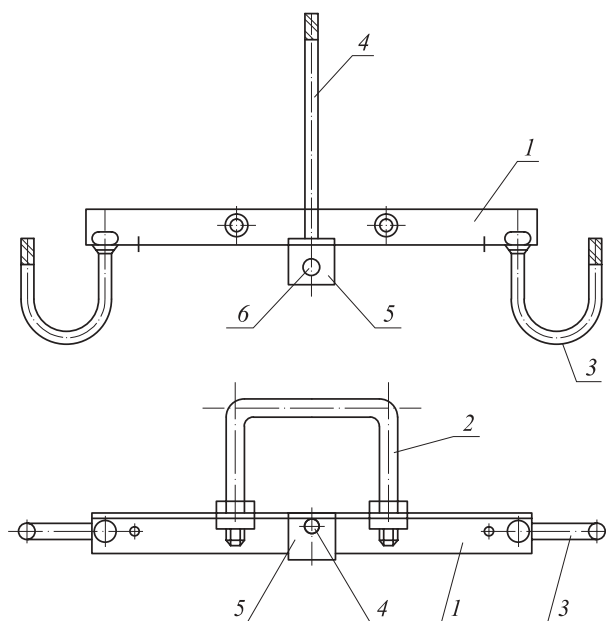


Рис. 3. Траверса ТН-1 со стационарной анкерной точкой  
Fig. 3. Traverse TN-1 with a fixed anchor point

На хомуте 1 (см. рис. 4) по внешнему кругу на равных расстояниях друг от друга закреплены (приварены) четыре изогнутые под определенным углом пластины 5 с отверстиями для крепления средств защиты работающих. Угол изгиба пластин 5 в диапазоне от 30 до 70° позволяет беспрепятственно крепить средства защиты и в случае падения работника обеспечить его безопасность. Количество пластин

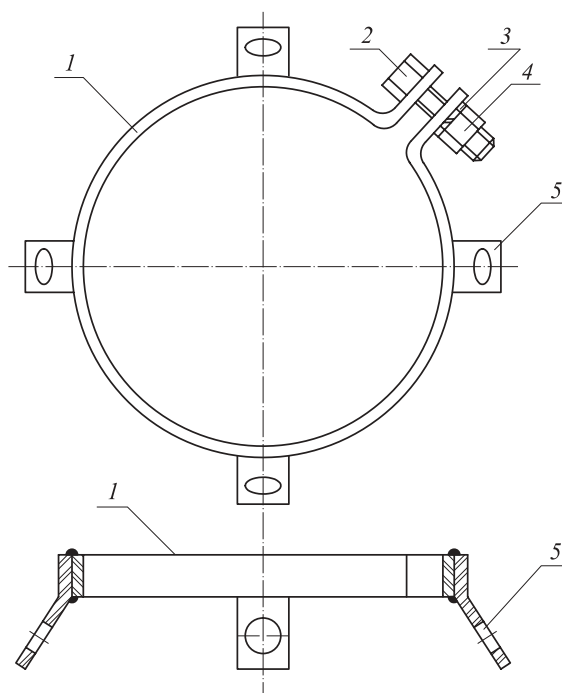
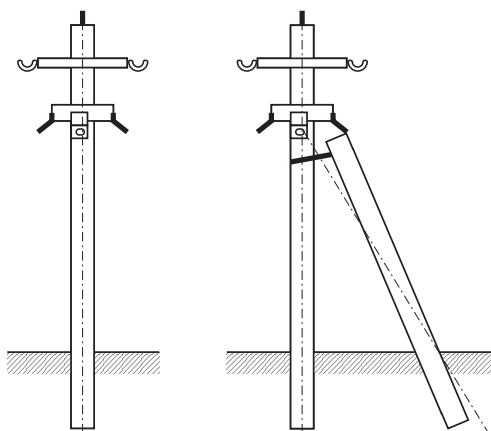


Рис. 4. Конструкция для крепления средств защиты работающих на длинномерных высотных опорах  
Fig. 4. A structure for fixing the means of protection of workers working on long-length high-altitude bearings



**Рис. 5.** Пример крепления анкерной точки на длинномерных высотных опорах

**Fig. 5.** An example of fixing an anchor point on long-length high-altitude bearings

выбирается в соответствии с количеством средств защиты работников.

При креплении данного устройства на опоре не нарушается целостность конструкции опоры.

Конструкция для крепления средств защиты работающих при выполнении работ на высоте работает следующим образом. Перед подъемом на опору с помощью телескопической штанги крепится страховочная система, и с помощью когтей или лестницы осуществляется подъем. Страховочная система состоит из страховочной привязи с соответствующей точкой крепления, к которой крепится гибкая анкерная линия (ГАЛ) с зажимом и амортизатором. Зажим устанавливается на ГАЛ в соответствии с инструкцией производителя. Амортизатор рывка соединяется с одной стороны с зажимом, а с другой — со страховочной точкой на привязи. В случае падения человека с опоры зажим заклинивает на канате, при-

крепленном к предлагаемой конструкции, и не дает человеку упасть на землю. Тем самым обеспечивается безопасная работа на высоте.

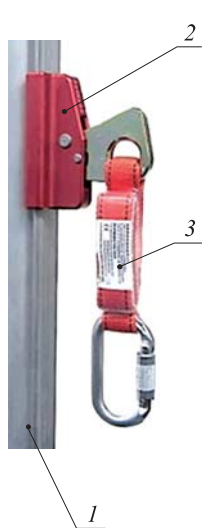
На рис. 5 показана схема закрепления предлагаемой конструкции на железобетонной опоре высоковольтной линии с подкосом и без подкоса.

Лестницы, которыми оборудованы некоторые высоковольтные опоры ВЛ, не являются безопасным решением подъема специалиста к рабочему месту, так как не обеспечивают защиту от падения с высоты. Для решения этой проблемы есть два способа.

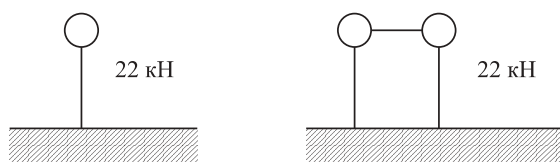
Первый способ заключается в изготовлении по длине подъема лестницы вертикальных защитных ограждений. При этом высота лестничной секции не должна превышать 5 м [5] для обеспечения безопасного подъема без дополнительных средств защиты от падения с высоты. Такие лестничные секции располагаются в шахматном порядке и разделяются площадками отдыха.

Второй способ заключается в применении средств индивидуальной защиты. Для безопасного подъема необходимо использовать либо жесткую анкерную линию с зажимом на всем пути подъема, либо анкерные точки для попеременной страховки.

Стоит отметить, что из всех перечисленных способов обеспечения безопасного перемещения по вертикальной лестнице наиболее безопасным является применение жесткой анкерной линии (рис. 6), поскольку это освобождает работника от постоянной попеременной страховки и тем самым снижает влияние человеческого фактора. Еще одним очевидным преимуществом является максимальная компактность и металлоемкость данной системы безопасности в сравнении с конструкцией лестниц с вертикальными защитными ограждениями и площадками отдыха.



**Рис. 6.** Применение жесткой анкерной линии / **Fig. 6.** Apply a rigid anchor line



**Рис. 7.** Условное обозначение анкерной точки и линии  
**Fig. 7.** Symbol of an anchor point and line

Жесткая анкерная линия (см. рис. 6) представляет собой направляющий рельс 1, на который крепится зажим-ползунок 2. Этот зажим способен самостоятельно перемещаться по рельсу совместно с работником, никак не затрудняя его движение. Примечательно то, что направляющий рельс можно совместить с одной из стоек самой лестницы либо полностью выполнить из него одностоечную лестницу. Подобные решения уже существуют на рынке, но пока представлены небольшим количеством производителей, таких как Carabelli, Vertic, High Safety. Помимо анкерной линии и ползунка, страховочная система также включает в себя амортизатор рывка 3 и страховочную привязь.

В заключение можно сказать, что есть много вариантов, когда обеспечить в полной мере безопасность работ на опоре имеющимися средствами безопасности, предлагаемыми на отечественном рынке, не представляется возможным по ряду технических и экономических причин. В связи с этим необходимо предусматривать в *проектных решениях* на вновь создаваемых и реконструируемых ВЛ стационарные анкерные точки на верхней части опоры.

Необходимо на законодательном уровне в отраслевые и межотраслевые нормы по охране труда внести дополнения, касающиеся устройства стационарной анкерной точки при проектировании, строительстве и реконструкции ВЛ.

С технической точки зрения анкерное устройство, как мы показали, несложная конструкция. При этом себестоимость анкерной точки будет небольшой, а внедрение такого устройства не увеличит расходы на строительство и реконструкцию ВЛ. Внедрение анкерных устройств при строительстве и реконструкции ВЛ позволит обеспечить безопасность работ на высоте в соответствии с действующим законодательством при производстве работ на высоте.

Хотелось бы также обратить внимание на то, что при внедрении стационарной анкерной точки необходимо установить общепринятый знак анкерной точки. Ни ГОСТ EN 795–2014, ни ГОСТ Р 12.4.026–2001 не предусматривают обозначения анкерной точки (линии), поэтому мы предлагаем изображение анкерной точки и линии, представленное на рис. 7.

Наличие обозначенного анкерного устройства на опоре облегчит организаторам работу на ней [18]

и будет полезно при обучении рабочих безопасным методам и приемам при работах на высоте, в том числе при организации стажировок; повысит уровень безопасности при выполнении ремонтных работ под напряжением на воздушных линиях электропередачи сверхвысокого напряжения [19]. Устройство стационарных анкерных точек и их соответствующая визуализация будут полезны при организации эвакуации людей с крыш в экстренных ситуациях и при обучении приемам спасения в процессе подготовки специалистов пожарной безопасности [20].

Основными направлениями работы по профилактике и предупреждению производственного травматизма при выполнении работ на высоте являются [2, 4]:

- анализ состояния условий труда и случаев травматизма на рабочих местах;
- систематизация причин возникновения несчастных случаев и травматизма;
- разработка новых усовершенствованных технических средств повышения безопасности работ на высоте;
- повышение уровня обучения и проверки знания работниками правил работ на высоте.

Выполнение предложенных мер направлено на обеспечение безопасности работ на высоте и сокращение уровня производственного травматизма.

## Выводы

1. Критический анализ существующих мер безопасности при производстве работ на ВЛС и ЛЭП свидетельствует о недостаточной обеспеченности надежной страховки от падения с высоты, а именно:

- на существующих опорах ВЛ затруднительна либо невозможна организация анкерной петли для наведения страховочной линии;
- при организации анкерной точки для страховки на существующих опорах ВЛ нарушается проектная нагрузочная способность траверсы;
- подъем и организация страховки на ЛЭП происходят с нарушениями существующих правил охраны труда при работе на высоте.

2. В настоящей статье предложен ряд универсальных технических решений обеспечения безопасности работ на ВЛС и ЛЭП при помощи организации стационарных анкерных точек и линий на опоре, монтаж которых целесообразно осуществлять на стадии строительства или реконструкции.

3. Для усиления организационной составляющей безопасности ведения работ при внедрении стационарных анкерных точек и линий предложена визуализация соответствующих условных обозначений анкерного устройства на ВЛС и ЛЭП, что облегчит работу по планированию работ на опорах и позволит повысить безопасность работ на высоте.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сенченко В. А., Карауш С. А., Каверзнева Т. Т. Меры безопасности при производстве работ на двускатных крышах // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. — 2017. — Т. 8, № 2. — С. 5–14. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.2.01.
2. Пушенко С. Л., Стасева Е. В. Анализ и профилактика производственного травматизма при возведении высотных зданий и выполнении работ на высоте // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2016. — Вып. 44-2(63). — С. 157–165.
3. Карауш С. А., Герасимова О. О. Причины травматизма и пути его снижения в технологиях строительного производства // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2012. — № 4. — С. 243–248.
4. Стасева Е. В. Совершенствование и повышение эффективности организации охраны труда в строительстве на основе системы управления рисками : дис. ... канд. техн. наук. — Ростов-на-Дону, 2012. — 196 с.
5. Правила по охране труда при работе на высоте : приказ Минтруда России от 28.03.2014 № 155н (ред. от 17.06.2015). URL: <http://base.garant.ru/70736920/> (дата обращения: 04.05.2017).
6. Пушенко С. Л., Нухаева А. В., Омельченко Е. В., Пушенко А. С., Соколова Г. Н., Стасева Е. В., Трушкова Е. А., Филъ Е. С. Безопасность жизнедеятельности. Часть 3. Безопасность производства работ (техника безопасности) : учебное пособие. — Ростов-на-Дону : Рост. гос. строит. ун-т, 2015. — 193 с.
7. Стасева Е. В., Пушенко С. Л. Основы методического подхода к совершенствованию организации охраны труда в строительстве на основе системы управления рисками // Инженерный вестник Дона. — 2012. — Т. 22. — № 4-1(22). — 4 с.
8. Kovack J. Webbing Wisdom // Fire Rescue. — 2009. — May 19. URL: <http://www.firerescuemagazine.com/articles/print/volume-2/issue-5/special-operations/webbing-wisdom.html> (дата обращения: 24.04.2017).
9. Evans T., Truebe S. A review of webbing anchor research // International Technical Rescue Symposium (November 5–8, 2015, Portland, Oregon). URL: [http://itrsonline.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/Evans\\_Truebe\\_Webbing-Anchor-Research-Final.pdf](http://itrsonline.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/Evans_Truebe_Webbing-Anchor-Research-Final.pdf) (дата обращения: 24.04.2017).
10. Kevin D. Compatibility: Your Connection // Proceedings of the International Technical Rescue Symposium (November 1–3, 2012, Seattle, Washington). URL: [http://itrsonline.org/wordpress/wp-content/uploads/2014/09/Denis2012\\_ITRSPaper.pdf](http://itrsonline.org/wordpress/wp-content/uploads/2014/09/Denis2012_ITRSPaper.pdf) (дата обращения: 24.04.2017).
11. Гибкие анкерные линии / Сайт компании SAFE-TEK. URL: [http://safe-tec.ru/products/ankernye\\_linii](http://safe-tec.ru/products/ankernye_linii) (дата обращения: 01.05.2017).
12. Средства защиты от падения с высоты : каталог промышленной линейки VENTO. — 2016. — 32 с. URL: [https://vento.ru/sites/default/files/pdfs/vento\\_pro\\_2016.pdf](https://vento.ru/sites/default/files/pdfs/vento_pro_2016.pdf) (дата обращения: 01.05.2017).
13. Сенченко В. А. Безопасность на высоте: воздушные линии связи // Санэпидконтроль. Охрана труда. — 2016. — № 3. — С. 37–42.
14. Сенченко В. А., Карауш С. А. Анкерная точка на опоре как элемент обеспечения безопасности работ на высоте // Строительство: новые технологии — новое оборудование. — 2016. — № 7. — С. 50–53.
15. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Серии 3.407.1-136. Железобетонные опоры ВЛ 0,38 кВ. Вып. 1. Материалы для проектирования. Рабочие чертежи : протокол Минэнерго СССР от 03.10.1985 № 24. URL: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293844/4293844659.htm> (дата обращения: 15.06.2017).
16. Пат. 167281 Российская Федерация, МПК E04H 12/24. Траверса опоры воздушной линии электропередач / Каверзнева Т. Т., Сенченко В. А. — № 2016126926; заявл. 04.07.2016; опубл. 27.12.2016, Бюл. № 36.
17. Пат. 167382 Российская Федерация, МПК E04G 21/32, E04H 12/00. Конструкция для крепления средств защиты работающих на длинномерных высотных опорах / Сенченко В. А., Карауш С. А. — № 2016137918; заявл. 22.09.2016; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1.
18. Сенченко В. А., Каверзнева Т. Т. Производство работ на двускатных крышах // Охрана труда и техника безопасности в строительстве. — 2017. — № 3(147). — С. 36–43.

19. Казакова С. А., Каверзнева Т. Т., Овсянников А. Г. Защита зоны ремонтных работ под напряжением на воздушных линиях электропередачи сверхвысокого напряжения // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2014. — № 3. — С. 65–71.
20. Скрипник И. Л., Воронин С. В. Особенности работы с обучающимися по подготовке специалистов пожарной безопасности // Актуальные вопросы естествознания : материалы II Межвузовской научно-практической конференции (12 апреля 2017 г., г. Иваново). — Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. — С. 126–128.

*Материал поступил в редакцию 16 октября 2017 г.*

**Для цитирования:** Сенченко В. А., Каверзнева Т. Т., Румянцева Н. В., Скрипник И. Л., Леликов Г. Д. Внедрение стационарных анкерных устройств для безопасной эксплуатации на высоте опор воздушных линий связи и линий электропередач // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 1. — С. 58–67. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.58-67.

English

## IMPLEMENTATION OF STATIONARY ANCHOR DEVICES FOR SAFE OPERATION AT THE HEIGHT OF SUPPORT OF AIR COMMUNICATION LINES AND ELECTRIC TRANSMISSION LINES

**SENCHENKO V. A.**, Leading Specialist in Occupational Safety, Volgograd Center for Occupational Safety and Ecology (Donetskaya St., 7, office 142, Volgograd, 400066, Russian Federation; e-mail: Vladimir.senchenko@rambler.ru)

**KAVERZNEVA T. T.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Politekhnicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; e-mail: kaverztt@mail.ru)

**RUMYANTSEVA N. V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Politekhnicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russia Federation; e-mail: rumyantseva\_nina@mail.ru)

**SKRIPNIK I. L.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: ig.skripnick2011@yandex.ru)

**LELIKOV G. D.**, Head of the Scientific Industrial Methodology Center "Industrial Rope Access", National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: jet\_biker@mail.ru)

### ABSTRACT

The results of the analysis of the existing safety measures for the production of works at altitude on overhead lines and power lines, which indicate the problems of organizing reliable insurance against falling from a height, are given. It is shown that there is not always a technical possibility to realize the fastening of flexible anchor points for securing safety systems to VL towers, which are designed to ensure the safety of work at height. Also, problems are shown in the organization of insurance when performing work on high-voltage power lines. Specific cases have been identified where it is technically impossible to put an anchor loop on a support or there are practical difficulties in the process of dressing-releasing a flexible anchor loop, or when putting an anchor loop on a support, it slips into parts that are not designed for the maximum load, which should be 22 kN. It is concluded that the use of flexible anchor points on the supports of overhead lines is not always possible or safe, and on the poles of the transmission line in general often violates the existing labor protection rules when working at height. A number of universal technical solutions to ensure the safety of work on overhead lines and transmission lines with the help of the organization of fixed anchor points and lines on the support, equipment which it is advisable to carry out at the stage of construction or reconstruction. It is also proposed to visualize the corresponding symbols of the anchor device on the overhead lines and power lines, which will facilitate the work on planning works on the supports and will improve

the safety of work at height. The expediency of introduction at the legislative level of additions to the sectoral and intersectoral labor protection requirements for the installation of a fixed anchor point for fixing safety systems in the design, construction and reconstruction of overhead lines is shown.

**Keywords:** occupational injuries; working at height; stationary anchorage point; work safety at height; work safety on support; personal protective equipment.

## REFERENCES

1. Senchenko V. A., Karaush S. A., Kaverzneva T. T. Safety precautions for works on gable roofs. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*, 2017, vol. 8, no. 2, pp. 5–14 (in Russian). DOI: 10.15593/2224-9826/2017.2.01.
2. Pushenko S. L., Staseva E. V. Analysis and prevention of occupational injuries in the construction of high-rise buildings and performing work at height. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura / Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*, 2016, issue 44-2(63), pp. 157–165 (in Russian).
3. Karaush S. A., Gerasimova O. O. Reasons of injury and ways of its reducing in the technological processes of building production. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta / Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*, 2012, no. 4, pp. 243–248 (in Russian).
4. Staseva E. V. *Perfection and increase of efficiency of organization of labor protection in construction on the basis of risk management system*. Cand. tech. sci. diss. Rostov-on-Don, 2012. 196 p. (in Russian).
5. Rules for labor protection when working at height. Order of the Ministry of Labor of Russia on 28.03.2014 No. 155n (ed. on 17.06.2015) (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/70736920/> (Accessed 4 May 2017).
6. Pushenko S. L., Nikhaeva A. V., Omelchenko E. V., Pushenko A. S., Sokolova G. N., Staseva E. V., Trushkova E. A., Fil E. S. *Bezopasnost zhiznedeятelnosti. Chast 3. Bezopasnost proizvodstva rabot (tekhnika bezopasnosti)* [Security of life. Part 3. Safety of work production (safety technology)]. Rostov-on-Don, Rostov State Building University Publ., 2015. 193 p. (in Russian).
7. Staseva E. V., Pushenko S. L. Bases of a methodical approach to improvement of the organization of labor protection in construction on the basis of a control system of risks. *Inzhenernyy vestnik Dona / Engineering Journal of Don*, 2012, vol. 22, no. 4-1(22). 4 p. (in Russian).
8. Kovack J. Webbing Wisdom. *Fire Rescue*, 2009, May 19. Available at: <http://www.firerescuemagazine.com/articles/print/volume-2/issue-5/special-operations/webbing-wisdom.html> (Accessed 24 April 2017).
9. Evans T., Truebe S. A review of webbing anchor research. *International Technical Rescue Symposium (November 5–8, 2015, Portland, Oregon)*. Available at: [http://itrsonline.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/Evans\\_Truebe\\_Webbing-Anchors-Final.pdf](http://itrsonline.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/Evans_Truebe_Webbing-Anchors-Final.pdf) (Accessed 24 April 2017).
10. Kevin D. Compatibility: Your Connection. *Proceedings of the International Technical Rescue Symposium (November 1–3, 2012, Seattle, Washington)*. Available at: [http://itrsonline.org/wordpress/wp-content/uploads/2014/09/Denis2012\\_ITRSPaper.pdf](http://itrsonline.org/wordpress/wp-content/uploads/2014/09/Denis2012_ITRSPaper.pdf) (Accessed 24 April 2017).
11. *Flexible anchor lines. Web-site of SAFE-TEK* (in Russian). Available at: [http://safe-tec.ru/products/ankernye\\_linii](http://safe-tec.ru/products/ankernye_linii) (Accessed 1 May 2017).
12. *Fall protection equipment. VENTO industrial ruler catalog*, 2016. 32 p. (in Russian). Available at: [https://vento.ru/sites/default/files/pdfs/vento\\_pro\\_2016.pdf](https://vento.ru/sites/default/files/pdfs/vento_pro_2016.pdf) (Accessed 1 May 2017).
13. Senchenko V. A. Safety at height: air communication lines. *Sanepidkontrol. Okhrana truda / Sanitary and Epidemiological Control. Labor Protection*, 2016, no. 3, pp. 37–42 (in Russian).
14. Senchenko V. A., Karaush S. A. Anchor point on the support as an element of ensuring the safety of work at altitude. *Stroitel'stvo: novyye tekhnologii — novoye oborudovaniye / Construction: New Technologies — New Equipment*, 2016, no. 7, pp. 50–53 (in Russian).
15. *Standard designs, products and units of buildings and structures. Series 3.407.1-136. Reinforced concrete poles of 0.38 kV overhead line. Issue 1. Materials for design. Working drawings*. Protocol of the Ministry of Energy of the USSR on 03.10.1985 No. 24 (in Russian). Available at: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293844/4293844659.htm> (Accessed 15 June 2017).
16. Kaverzneva T. T., Senchenko V. A. *Traverse of the overhead power transmission line*. Patent RU, no. 167281, publ. date 27.12.2016 (in Russian).
17. Senchenko V. A., Karaush S. A. *Design for fixing the means of protection of workers working on long-height towers*. Patent RU, no. 167382, publ. date 10.01.2017 (in Russian).

18. Senchenko V. A., Kaverzneva T. T. Production of works on gable roofs. *Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti v stroitelstve / Labor Protection and Safety in Construction*, 2017, no. 3(147), pp. 36–43 (in Russian).
19. Kazakova S. A., Kaverzneva T. T., Ovsyannikov A. G. The protection of live working place on EHV overhead lines. *Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka / Scientific Problems of Transport in Siberia and the Far East*, 2014, no. 3, pp. 65–71 (in Russian).
20. Skripnik I. L., Voronin S. V. Features of work with students on training fire safety specialists. In: *Aktualnyye voprosy yestestvoznaniya: materialy II Mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual questions of natural science. Proceedings of II Interuniversity Scientific and Practical Conference]. Ivanovo, Ivanovo Fire and Rescue Academy Publ., 2017, pp. 126–128 (in Russian).

**For citation:** Senchenko V. A., Kaverzneva T. T., Rummyantseva N. V., Skripnik I. L., Lelikov G. D. Implementation of stationary anchor devices for safe operation at the height of support of air communication lines and electric transmission lines. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 58–67 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.58-67.



# Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ : монография.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 104 с. : ил.



Изложены современные подходы к нормированию площадей пожарных отсеков и раскрыты требования к ним. Предложен метод научно-технического обоснования размеров пожарных отсеков с учетом вероятностного подхода на основе расчета пожарного риска. Рассмотрены возможности расчета вероятностных показателей, используемых в разработанном методе. Представлены основные достижения в данном направлении отечественной и зарубежной науки; приведены сведения о положительных и отрицательных сторонах действующей системы технического регулирования.

Монография ориентирована на научных и инженерных работников, занимающихся вопросами проектирования противопожарной защиты зданий и сооружений, а также на научных и практических работников пожарной охраны, преподавателей и слушателей учебных заведений строительного и пожарно-технического профиля, специалистов страховых компаний, занимающихся вопросами оценки пожарного риска.

Монография рекомендуется к использованию при выполнении научно-исследовательских и нормативно-технических работ по оптимизации объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений, в том числе тех, на которые отсутствуют нормы проектирования, а также при проведении оценки страхования пожарных рисков.

Разработанный метод расчета может быть положен в основу технических регламентов и сводов правил в области строительства и пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,  
В. Н. Веревкин, В. А. Пехотилов, А. И. Рябилов

# ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие



Приводятся новые, отвечающие современной нормативной базе, требования по классификации горючих смесей и пожаровзрывоопасных зон; рекомендации по выбору и использованию оборудования, включая кабельные изделия во взрывопожароопасных зонах.

Издание предназначено для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и монтажом электроустановок, работников пожарной охраны и специалистов широкого профиля в качестве учебного пособия для подготовки и повышения квалификации в области пожаровзрывобезопасности электроустановок.

**И. К. БАКИРОВ**, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности, Уфимский государственный нефтяной технический университет (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: bakirovirek@bk.ru)

**Е. Ю. ЧЕЛЕКОВА**, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: kiara\_lion@mail.ru)

УДК 614.841.3(470.57)

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПОЖАРНЫЙ СТОЛ

Рассмотрено изобретение — универсальный пожарный ствол для тушения пожаров подачей пены в резервуары с нефтепродуктами. Обозначена главная особенность данного изобретения — разделение потоков пожарной пены по кратности, дающее возможность использовать при тушении пожаров пену низкой и средней кратности, подаваемую с мобильной пожарной техники, без замены пожарных стволов, закрепленных на конечнике стрелы подъемника пены. Выявлено, что тем самым сокращается время развития горения и повышается общая эффективность ликвидации пожара. Описано техническое усовершенствование универсального пожарного ствола, состоящее в дистанционном переключении режимов работы ствола на пульте управления, установленном в отсеке управления пожарным насосом, а также удлинение патрубков, что позволяет увеличить компактность струи и уменьшить турбулентность потока пенного раствора.

**Ключевые слова:** ликвидация пожара; нефтепродукт; опасные факторы пожара; пена; пожар; пожарная безопасность; пожарный ствол; резервуар; силы и средства пожарной охраны.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.01.69-76

### Введение

Нефтяная промышленность играет большую роль в мировой экономике и международной торговле. На сегодняшний день Россия — один из крупнейших экспортеров нефти на мировом рынке. Нефтяная отрасль, являясь важнейшей составляющей социально-экономического направления развития России, способствует также развитию и других отраслей.

Наряду с этим объекты нефтегазового комплекса относятся к наиболее пожароопасным объектам. С одной стороны, внедрение новых современных конструкций технологического оборудования, повышение его надежности, автоматизация технологических процессов, применение инновационных автоматизированных систем обнаружения и тушения пожаров содействуют снижению уровня пожарной опасности в нефтяной промышленности [1]. С другой стороны, рост количества и размеров резервуарных парков, а также других производственных сооружений, повышение производительности, увеличение количества технологических процессов повышают вероятность возникновения пожаров и масштабы их последствий [2–4].

Высокая пожароопасность этих объектов обусловлена тем, что в резервуарах, предназначенных для хранения легковоспламеняющихся и горючих

жидкостей, сосредоточено значительное количество (исчисляемое порой сотнями тысяч тонн) пожароопасных жидкостей [5–7]. Поэтому пожары в резервуарных парках бывают самыми крупными и тяжелыми и наносят огромный ущерб действующим предприятиям [8–10].

Возникновение пожара в резервуаре зависит от следующих факторов: наличия источника зажигания, свойств горючей жидкости, конструктивных особенностей резервуара, наличия взрывоопасных концентраций внутри его и снаружи [11–13].

Пожар в резервуаре в большинстве случаев начинается со взрыва паровоздушной смеси. При этом даже в начальной стадии горение нефти и нефтепродуктов в нем может сопровождаться мощным тепловым излучением в окружающую среду, а высота светящейся части пламени составлять 1–2 диаметра горящего резервуара. Факельное горение может возникнуть на дыхательной арматуре, в местах соединения пенных камер со стенками резервуара, других отверстиях или трещинах в крыше или стенке резервуара. Если при факельном горении наблюдается черный дым и красное пламя, то это свидетельствует о высокой концентрации паров горючего в объеме резервуара. В этом случае опасность взрыва незначительна. Сине-зеленое факельное горение без дымообразования свидетельствует о том, что кон-

центрация паров продукта в резервуаре близка к области воспламенения и существует реальная опасность взрыва. При пожаре в резервуаре с плавающей крышей возможно образование локальных очагов горения в зоне уплотняющего затвора, в местах скопления горючей жидкости на плавающей крыше [14–16].

Вокруг резервуаров по правилам обустройства обвалование. Причинами возникновения пожара в обваловании резервуаров может быть перелив хранящегося продукта, нарушение герметичности резервуара, задвижек, фланцевых соединений, наличие пропитанной нефтепродуктом теплоизоляции на трубопроводах и резервуарах [17–19].

Вся техника во время ликвидации возгораний в резервуарных парках и снижения температуры хранящихся веществ должна находиться за обвалованием емкостей [20].

Основным средством тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах является воздушно-механическая пена средней и низкой кратности, подаваемая на поверхность горючей жидкости.

В настоящее время в практике работы пожарной охраны применяются в основном три приема подачи огнетушащих пен в резервуары:

- через слой горючего с помощью специального оборудования резервуара;
- через борт резервуара в виде навесной струи с помощью пенных стволов, пеносливов и гидромониторов;
- под слой горючего в основание резервуара;
- комбинированный способ [21].

Пожары в резервуарах и резервуарных парках носят затяжной характер и крайне опасны, поскольку они характеризуются выбросами нефти и нефтепродуктов, а также высокой вероятностью возникновения взрывов. Часто, когда кажется, что пожар ликвидирован, происходит выброс нефтепродукта и горение возобновляется. Во избежание возобновления горения пожарные подразделения при тушении пожаров в резервуарах подают пену низкой кратности непосредственно в слой горящего нефтепродукта для его охлаждения, а сверху покрывают его слоем среднекратной пены для изолирования. Такая тактика тушения исключает возможность выброса нефтепродукта. Однако для этого пожарным подразделениям необходимо производить замену пожарных стволов, закрепленных на наконечнике стрелы пеноподъемника, и тратить время, давая возможность развиться горению и снижая тем самым общую эффективность ликвидации пожара.

Исходя из проведенного анализа целью нашей работы является модернизация существующей установки комбинированного тушения пожаров (УКТП) “Пурга”. Для этого необходимо в конструкцию уста-

новки внести изменения, касающиеся ее структуры и технических характеристик.

### Аналитический раздел

Многолетняя практика тушения пожаров показывает, что тушение пожаров в нефтегазовой отрасли не обходится без передвижной пожарной техники. Передвижная пожарная техника оснащена подъемным механизмом — стрелой, способной доставлять раствор пенообразователя на большую высоту. Тушение резервуара с помощью пеноподъемника, несмотря на современные системы пожаротушения, остается самым эффективным.

Пожарный пеноподъемник оснащается УКТП “Пурга-20.40.60” (УКТП “Пурга-10.20.30”), гребенкой с четырьмя ГПС-2000М, которые позволяют создавать пену низкой и средней кратности и подавать ее на слой горящей жидкости. Растекаясь по поверхности, пена охлаждает нефтепродукт и создает защитную пленку, препятствуя доступу воздуха в зону горения. После образования на поверхности однородного слоя пены (до 10 см) горение прекращается. Сохранение этого слоя в течение 2–3 ч исключает возможность повторного воспламенения.



Рис. 1. Установка комбинированного тушения пожаров “Пурга-20.40.60”

Fig. 1. Installation of the combined suppression of the fires of “Purga-20.40.60”

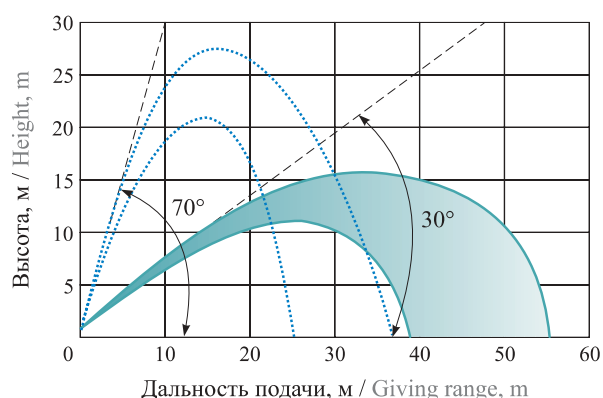


Рис. 2. Радиус действия УКТП “Пурга-20.40.60” (144000 л/мин при 0,8 МПа)

Fig. 2. Radius of action of “Purga-20.40.60” (144000 l/min at 0,8 MPa)

УКТП “Пурга-20.40.60” (рис. 1) предназначена для получения воздушно-механической пены средней кратности с повышенной дальностью подачи (рис. 2). Установка используется для тушения пожаров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

Преимуществом данной установки является высокий расход пены, а недостатками — низкая маневренность и потеря времени за счет смены стволов на подачу пены низкой кратности.

### Решение проблемы

Для решения одной из поставленных задач предлагается к внедрению универсальный пожарный ствол “Пурга-73Д” (рис. 3) на основе уже существующей установки комбинированного тушения пожара “Пурга-20.40.60”. Пожарный ствол “Пурга-73Д” дает возможность использовать при тушении пожаров пену низкой и средней кратности, подаваемую с мобильной пожарной техники.

Разработанный пожарный ствол имеет систему разделения потоков пенного раствора. Система способна переключаться с комбинированного режима с подачей пены средней кратности и пены низкой кратности одновременно (как на оригинальной УКТП “Пурга-20.40.60”) на режим, при котором осуществляется подача лишь пены низкой кратности через воздушно-пенный ствол (СВП).

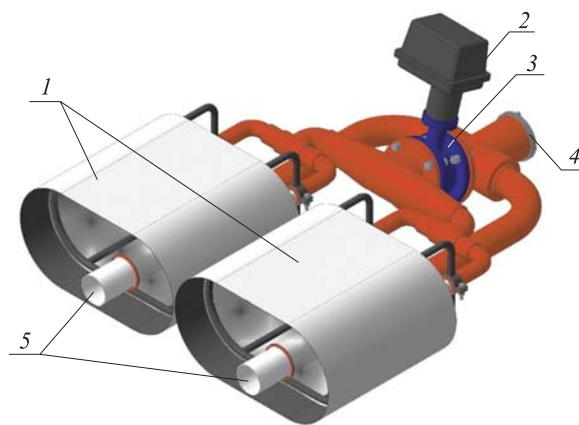
При применении данного универсального пожарного ствола отпадает необходимость в использовании стволов для подачи пены низкой кратности на отдельном пеноподъемнике, когда того требует обстановка на пожаре.

Главным усовершенствованием универсального пожарного ствола является возможность дистанционного переключения режимов работы ствола на пульте управления, установленном в отсеке управления пожарным насосом. Кроме того, за счет удлинения патрубков, ведущих к СВП, и плавного угла по сравнению с оригинальной “Пургой” увеличивается компактность струи и уменьшается турбулентность потока пенного раствора.

Переход в режим подачи через СВП пены низкой кратности осуществляется посредством шарового крана с электроприводом, который перекрывает подачу пенного раствора в форсунки для пены средней кратности, повышая тем самым давление в СВП, что дает увеличение дальности полета струи до полутора раз. Сам электропривод защищен по стандарту IP 67, что означает полную защиту от попадания пыли и брызг и выдержку погружения на глубину до 1 м.

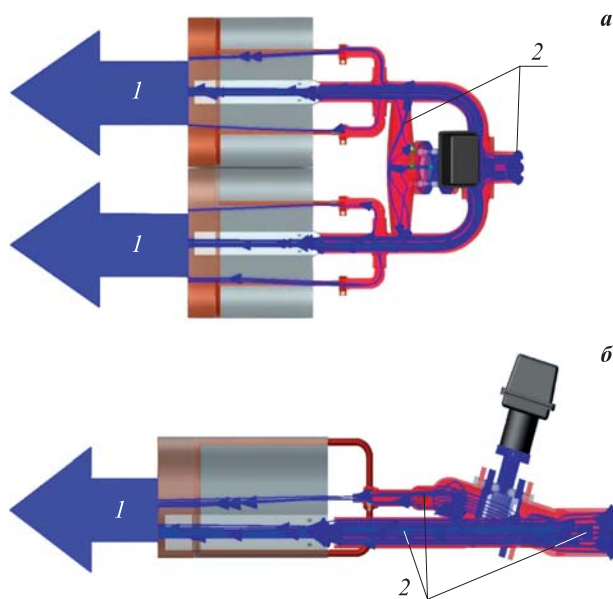
В режиме разделения потока пенный раствор движется по всем патрубкам, при этом из воздушно-пенного ствола выходит пена низкой кратности, а из генератора-монитора УКТП “Пурга” — пена

средней кратности. Пена низкой кратности обеспечивает увеличение дальности подачи струи, а пена средней кратности — эффективность тушения пожара. Схема движения потоков огнетушащего вещества при открытой задвижке шарового крана показана на рис. 4.



**Рис. 3.** Конструкция универсального пожарного ствола, разделяющего поток пожарной пены по кратности: 1 — ствол, сконструированный на базе установки “Пурга-60”; 2 — электропривод; 3 — шаровой кран; 4 — соединительная головка; 5 — воздушно-пенные стволы

**Fig. 3.** Design of the universal fire trunk dividing a stream of fire foam on frequency rate: 1 — trunk designed on the basis of “Purga-60” installation; 2 — electric drive; 3 — spherical crane; 4 — connecting head; 5 — air and foamy trunks



**Рис. 4.** Схема движения потоков ОТВ при режиме подачи с получением пены средней кратности с повышенной дальностью подачи струи: а — вид сверху; б — вид сбоку; 1 — пена средней кратности; 2 — раствор пенообразователя

**Fig. 4.** The scheme of driving of streams of fire extinguishing substance at the giving mode with receiving foam of average frequency rate with the increased range of giving of a stream: а — top view; б — side view; 1 — foam of average frequency rate; 2 — solution of foamer



Рис. 5. Схема установки ствола “Пурга-73Д” и управления им с передвижной мобильной техники: 1 — пульт управления; 2 — электропривод; 3 — универсальный ствол с сервоприводом

Fig. 5. The scheme of installation of a trunk “Purga-73D” and managements from moveable mobile technique is submitted to them: 1 — operating console; 2 — electric drive; 3 — universal trunk with the servo-driver

Дистанционное управление универсальным пожарным стволом “Пурга-73Д” осуществляется тумблером для переключения шарового крана, установленным в отсеке управления пожарным насосом. Электрокабель идет по пеноподъемнику вверх, к пожарному стволу, закрепленному на специальном креплении наконечника стрелы. Схема установки ствола “Пурга-73Д” и управления им с передвижной мобильной техники приведена на рис. 5.

В таблице представлено сравнение технических характеристик установки комбинированного тушения пожаров “Пурга-60” и разрабатываемого универсального пожарного ствола.

Рассмотрим тушение пожара в резервуарах РВС-5000 № 272 и 273 на производственной площадке филиала ПАО АНК “Башнефть” “Башнефть-УНПЗ” в товарном производстве группы перекачки бензина.

Определяем требуемый расход пенообразователя  $Q_{тр}^{туш}$  (л/с) для тушения “зеркала” резервуара:

$$Q_{тр}^{туш} = S_{п} I_{тр}^{туш} = 416 \cdot 0,05 = 20,8, \quad (1)$$

где  $S_{п}$  — площадь “зеркала” резервуара, м<sup>2</sup>;  
 $I_{тр}^{туш}$  — интенсивность подачи пенообразователя согласно справочнику РТП, л/(м<sup>2</sup>·с).

Рассчитываем количество универсальных пожарных стволов “Пурга-73Д” для тушения “зеркала” резервуара пеной средней кратности:

$$N_{Пурга-73Д}^{туш} = \frac{Q_{тр}^{туш}}{q_{ств}} = \frac{20,8}{73,2} = 0,28 \approx 1, \quad (2)$$

Сравнение технических характеристик пожарных стволов, используемых при тушении резервуаров нефтепродуктов и других объектов нефтегазовой отрасли

Comparison of principal specifications of the fire trunks used at suppression of tanks of oil products and other objects of oil and gas branch

| Техническая характеристика ствола<br>Principal specification of a trunk                     | Пурга-60<br>Purga-60 | Универсальный пожарный ствол<br>The universal fire trunk |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------|
| Производительность, л/с<br>Efficiency, l/s                                                  | 60                   | 73,2                                                     |
| Давление на входе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )<br>Inlet pressure, MPa (kgs/cm <sup>2</sup> ) | 0,8 (8)              | 0,8(8)                                                   |
| Расход пенообразователя, л/с<br>Consumption of foaming agent, l/s                           | 3,6                  | 4,4                                                      |
| Производительность по воде, л/с<br>Efficiency on water, l/s                                 | 56,4                 | 68,8                                                     |
| Подача пены низкой кратности<br>Supply of foam of low frequency rate                        | Нет<br>No            | Да<br>Yes                                                |
| Подача пены средней кратности<br>Supply of foam of average frequency rate                   | Да<br>Yes            | Да<br>Yes                                                |

где  $q_{ств}$  — расход универсального пожарного ствола, л/с.

В случае горения двух резервуаров нам необходимо 2 ствола “Пурга-73Д”.

Определяем общее количество пенообразователя  $W_{тр}^{ПО}$  (л), необходимое для тушения пожара в резервуаре:

$$W_{тр}^{ПО} = (N_{Пурга-73Д}^{туш} q_{ств}) \cdot 0,06 \cdot 60 \tau_p k_3 = (2 \cdot 73,2) \cdot 0,06 \cdot 60 \cdot 15 \cdot 3 = 23717, \quad (3)$$

где  $\tau_p$  — расчетное время подачи огнетушащего вещества на тушение пожара в резервуарном парке, с;

$k_3$  — коэффициент разрушения пены.

Вычисляем требуемый расход воды для охлаждения горящего резервуара  $Q_{тр}^{охл.гор}$  (л/с):

$$Q_{тр}^{охл.гор} = P I_{тр}^{охл.гор} = 72 \cdot 0,8 = 57,6, \quad (4)$$

где  $P$  — периметр “зеркала” резервуара, м;

$I_{тр}^{охл.гор}$  — интенсивность подачи воды на охлаждение резервуара при горении в обваловании;  $I_{тр}^{охл.гор} = 0,8$  л/(м<sup>2</sup>·с).

Определяем требуемый расход воды для охлаждения соседнего резервуара  $Q_{\text{тр}}^{\text{охл.сос}}$  (л/с):

$$Q_{\text{тр}}^{\text{охл.сос}} = \frac{P}{2} I_{\text{тр}}^{\text{охл.сос}} = \frac{72}{2} \cdot 0,3 = 10,8, \quad (5)$$

где  $I_{\text{тр}}^{\text{охл.сос}}$  — интенсивность подачи воды на охлаждение соседнего резервуара;  $I_{\text{тр}}^{\text{охл.сос}} = 0,3 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{с)}$ .

Устанавливаем количество стволов ЛС-П20У, требуемое для охлаждения горящего резервуара РВС-5000:

$$N_{\text{ств}}^{\text{охл.гор}} = \frac{Q_{\text{тр}}^{\text{охл.гор}}}{q_{\text{ств}}} = \frac{57,6}{20} = 2,88 \approx 3. \quad (6)$$

Поскольку горели 2 резервуара РВС-5000, для их охлаждения принимаем 6 стволов ЛСП-20У.

Определяем количество стволов ЛС-П20У, необходимое для охлаждения соседних резервуаров, находящихся на удалении от горящего, составляющем не более двух минимальных расстояний между резервуарами (в нашем случае между двумя резервуарами):

$$N_{\text{ств}}^{\text{охл.сос}} = \frac{Q_{\text{тр}}^{\text{охл.сос}}}{q_{\text{ств}}} = \frac{10,8}{20} = 0,54 \approx 1. \quad (7)$$

В ходе практических испытаний, проведенных на базе ПЧ-11 ФКУ “1-й отряд ФПС ГПС по РБ (договорной)”, установлено, что время замены пожарного ствола “Пурга-60” в дневное время и не в условиях пожара составляет 5,1 мин. С учетом возможности сложной обстановки на пожаре на основе экспертной оценки данное время может увеличиться в 1,5–2 раза. Это означает, что время подачи ОТВ в очаг горения и время ликвидации пожара будут

также больше, так как время свободного развития пожара из-за потерь времени на замену ствола увеличится, и его сложнее будет потушить. Предлагаемый пожарный ствол не будет требовать замены ствола для подачи пены другой кратности в очаг пожара.

К сожалению, в методике расчета сил и средств не учитывается время на замену пожарного ствола, если необходимо подавать в очаг пожара пену низкой кратности после подачи пены средней кратности. Считаем это недостатком расчетного метода, так как практика тушения пожара часто требует этого тактического решения в случае тушения объектов нефтегазовой отрасли.

### Заключение

Таким образом, в результате проведенной работы была модернизирована установка комбинированного тушения пожаров “Пурга”. В частности, путем изменения конструкции установки был увеличен расход пены, подаваемой пеногенератором, а также сокращено время применения ствола низкой кратности, увеличена компактность струи и уменьшена турбулентность потока пенного раствора. Во время ликвидации горения в резервуарном парке был применен универсальный пожарный ствол, разделяющий поток пожарной пены по кратности, с улучшенными характеристиками. На примере конкретного пожара показано, что ликвидация горения в двух резервуарах при использовании предлагаемого универсального пожарного ствола может происходить одновременно, при этом улучшаются показатели по тушению и локализации пожара.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков О. М., Проскуряков Г. А. Пожарная безопасность на предприятиях транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов. — М. : Недра, 1981. — 256 с.
2. Кругляков П. М., Ексерова Д. Р. Пена и пенные пленки. — М. : Химия, 1990. — 432 с.
3. Шароварников А. Ф., Шароварников С. А. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — М. : Пожнаука, 2005. — 335 с.
4. Polandov Yu., Korolchenko A., Dobrikov S. Gas explosion in a room with a window and passage to an adjacent room // MATEC Web of Conferences. — 2016. — Vol. 86. — Art. no. 04031. DOI: 10.1051/mateconf/20168604031.
5. Корольченко Д. А., Дегаев Е. Н., Шароварников А. Ф. Горение гептана в модельном резервуаре // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 2. — С. 67–70.
6. Korolchenko D., Tusnin A., Trushin S., Korolchenko A. Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in high-rise buildings // International Journal of Applied Engineering Research. — 2015. — Vol. 10, Issue 21. — P. 42541–42548.
7. Маркеев В. А., Воевода С. С., Корольченко Д. А. Противопожарная защита объектов резервуарного парка ОАО “НК “Роснефть” // Нефтяное хозяйство. — 2006. — № 9. — С. 83–85.
8. Безродный И. Ф., Гилетич А. Н., Меркулов В. А., Молчанов В. П., Швырков А. Н. Тушение нефти и нефтепродуктов : пособие. — М. : ВНИИПО, 1996. — 216 с.
9. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1073-1076. — P. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.

10. Дегаяев Е. Н., Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Влияние кратности на основные параметры процесса тушения углеводородов // Проблемы техносферной безопасности—2015 : материалы 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. — С. 24–28.
11. Korolchenko D. A., Degaev E. N., Sharovarnikov A. F. Dependence of fire extinguishing efficacy of low expansion foams solutions homology sodium sulfate on the molecular weight of the surface-active substances // 2<sup>nd</sup> International Conference on Material Engineering and Application (ICMEA 2015). — Lancaster : DEStech Publications, Inc., 2015. — P. 23–27.
12. Lyapin A., Korolchenko A., Meshalkin E. Analysis of causes of combustible mixture explosions inside production floor areas // MATEC Web of Conferences. — 2016. — Vol. 86. — Art. no. 04030. DOI: 10.1051/mateconf/20168604030.
13. Ranjbar H., Shahraki B. H. Effect of aqueous film-forming foams on the evaporation rate of hydrocarbon fuels // Chemical Engineering and Technology. — 2013. — Vol. 36, Issue 2. — P. 295–299. DOI: 10.1002/ceat.201200401.
14. Kovalchuk N. M., Trybala A., Starov V., Matar O., Ivanova N. Fluoro- vs hydrocarbon surfactants: Why do they differ in wetting performance? // Advances in Colloid and Interface Science. — 2014. — Vol. 210. — P. 65–71. DOI: 10.1016/j.cis.2014.04.003.
15. Лукьянов А. М., Корольченко Д. А., Агапов А. Г. О пожароопасности древесины при возведении мостов // Мир транспорта. — 2012. — Т. 10, № 4(42). — С. 158–162.
16. Корольченко Д. А. Влияние времени свободного горения нефтепродуктов на огнетушащую эффективность пены, полученной из растворов углеводородных пенообразователей // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2017. — № 1. — С. 31–39.
17. Швырков С. А. Концепция оценки пожарного риска при разрушении нефтяных резервуаров // Технологии техносферной безопасности. — 2012. — № 6(46). — 11 с. URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_20407973\\_35025155.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_20407973_35025155.pdf) (дата обращения: 10.10.2017).
18. Саратов Д. Н., Решетов А. П., Бондарь А. А. К вопросу о совершенствовании способа получения тонкораспыленной воды // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 52–57.
19. Иванов В. А., Бараковских С. А. Анализ аварийных ситуаций на резервуарных парках по причине пожаров // Мегапаскаль : сб. науч. тр. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2009. — Вып. 3. — С. 28–29.
20. Бакиров И. К. Недостатки методик определения расчетных величин пожарного риска // Экологические проблемы нефтедобычи : сб. тр. Всероссийской научной конференции. — Уфа : УГНТУ, 2010. — С. 16–17.
21. Бакиров И. К. Что надо изменить, чтобы эффективно проверять объекты в области пожарной безопасности // Пожарная безопасность в строительстве. — 2011. — № 4. — С. 42–46.

*Материал поступил в редакцию 27 октября 2017 г.*

**Для цитирования:** Бакиров И. К., Челекова Е. Ю. Универсальный пожарный ствол // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 1. — С. 69–76. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.69-76.

English

## UNIVERSAL FIRE TRUNK

**BAKIROV I. K.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Fire and Industrial Safety Department, Ufa State Oil Technical University (Kosmonavtov St., 1, Ufa, 450062, Republic of Bashkortostan, Russian Federation; e-mail: bakirovirek@bk.ru)

**CHELEKOVA E. Yu.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: kiara\_lion@mail.ru)

### ABSTRACT

Practice of suppression of the fires in oil and gas branch by firefighters of divisions shows that at suppression of tanks in any way not to do without the mobile fire fighting equipment. Suppression of

the tank by means of raising of foam, despite the modern fire extinguishing systems, remains to be the most efficient. The mobile fire fighting equipment is equipped with a lifter — the arrow capable to deliver solution of a foamer to larger height. The most known of fire raising of foam equipped with installation of the combined fire extinguishing is the fire Purga-20.40.60 installation which allows to create foam of low and average frequency rate. Purga-20.40.60 is intended for receiving air and mechanical foam with the increased giving range. Installation is used for suppression of the fires of flammable and combustible liquids. Advantage of this installation is the high consumption of foam, and shortcomings — low maneuverability and loss of time at suppression because of change of trunks with supply of foam of low frequency rate. In this regard there was a need for modernization of the existing installation of the combined suppression of the fires of Purga by change of its structure and principal specifications. The universal fire trunk Purga-73D on the basis of already existing installation for fire extinguishing Purga-20.40.60 is offered to introduction. The developed fire trunk has the system of division of streams of foamy solution. The system is capable to be divided into the combined mode with supply of foam of average frequency rate and foam of low frequency rate at the same time. The main improvement of the universal fire trunk is that in this development there is a possibility of distant switching of duties of a trunk on the operating console established in a compartment of control of the fire pump. On principal specifications the universal fire trunk in comparison with a routine trunk Purga-60 has advantages: it is high efficiency and advantage of use of foam of low frequency rate, at the same time a difference in a consumption of foaming agent and water small and consequently, his use at fire extinguishing is more efficient and economic.

**Keywords:** fire elimination; oil product; fire dangerous factors; foam; fire; fire safety; fire trunk; tank; forces and means of fire protection.

## REFERENCES

1. Volkov O. M., Proskuryakov G. A. *Pozharnaya bezopasnost na predpriyatiyakh transporta i khraneniya nefi i nefteproduktov* [Fire safety at the enterprises of transport and storage of oil and oil products]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 256 p. (in Russian).
2. Kruglyakov P. M., Ekserova D. R. *Pena i pennyye plenki* [Foam and foam films]. Moscow, Khimiya Publ., 1990. 432 p. (in Russian).
3. Sharovarnikov A. F., Sharovarnikov S. A. *Penoobrazovateli i peny dlya tusheniya pozharov. Sostav. Svoystva. Primeneniye* [Foam concentrates and fire extinguishing foams. Structure. Properties. Application]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2005. 335 p. (in Russian).
4. Polandov Yu., Korolchenko A., Dobrikov S. Gas explosion in a room with a window and passage to an adjacent room. *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 86, art. no. 04031. DOI: 10.1051/matec-conf/20168604031.
5. Korolchenko D. A., Degaev E. N., Sharovarnikov A. F. Combustion of heptane in a model tank. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 2, pp. 67–70 (in Russian).
6. Korolchenko D., Tusnin A., Trushin S., Korolchenko A. Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in high-rise buildings. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, issue 21, pp. 42541–42548.
7. Markeev V. A., Voevoda S. S., Korolchenko D. A. Fire protection of tank farm objects of Rosneft NK OAO. *Neftyanoye khozyaystvo / Oil Industry*, 2006, no. 9, pp. 83–85 (in Russian).
8. Bezrodnyy I. F., Giletych A. N., Merkulov V. A., Molchanov V. P., Shvyrkov A. N. *Tusheniye nefi i nefteproduktov* [Extinguishing of oil and oil products]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1996. 216 p. (in Russian).
9. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1073–1076, pp. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
10. Degaev E. N., Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Effect of the multiplicity of foams on the main parameters of the hydrocarbon quenching process. In: *Problemy tekhnosfernoy bezopasnosti–2015. Materialy 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov* [Problems of Technospheric Security–2015. Proceedings of 4<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015, pp. 24–28 (in Russian).

11. Korolchenko D. A., Degaev E. N., Sharovarnikov A. F. Dependence of fire extinguishing efficacy of low expansion foams solutions homology sodium sulfate on the molecular weight of the surface-active substances. In: *2<sup>nd</sup> International Conference on Material Engineering and Application (ICMEA 2015)*. Lancaster, DEStech Publications, Inc., 2015, pp. 23–27.
12. Lyapin A., Korolchenko A., Meshalkin E. Analysis of causes of combustible mixture explosions inside production floor areas. *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 86, art. no. 04030. DOI: 10.1051/mateconf/20168604030.
13. Ranjbar H., Shahraki B. H. Effect of aqueous film-forming foams on the evaporation rate of hydrocarbon fuels. *Chemical Engineering and Technology*, 2013, vol. 36, issue 2, pp. 295–299. DOI: 10.1002/ceat.201200401.
14. Kovalchuk N. M., Trybala A., Starov V., Matar O., Ivanova N. Fluoro- vs hydrocarbon surfactants: Why do they differ in wetting performance? *Advances in Colloid and Interface Science*, 2014, vol. 210, pp. 65–71. DOI: 10.1016/j.cis.2014.04.003.
15. Lukianov A. M., Korolchenko D. A., Agapov A. G. Fire hazards of the timber during bridge construction. *Mir transporta / World of Transport and Transportation*, 2012, vol. 10, no. 4(42), pp. 158–162 (in Russian).
16. Korolchenko D. A. Influence of the time of free burning of oil products on fire extinguishing efficiency of foam obtained from solutions of hydrocarbon agents. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy / Safety and Emergencies Problems*, 2017, no. 1, pp. 31–39 (in Russian).
17. Shvyrykov S. A. The concept of fire risk assessment at destruction of oil tanks. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2012, no. 6(46) (in Russian). Available at: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_20407973\\_35025155.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_20407973_35025155.pdf) (Accessed 10 October 2017).
18. Saratov D. N., Reshetov A. P., Bondar A. A. To the question on perfection of the way of reception of thin the sprayed water. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 52–57 (in Russian).
19. Ivanov V. A., Barakovskikh S. A. Analysis of accidents at tank farms in case of fires. In: *Megapascal. Collection of scientific papers*. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 2009, issue 3, pp. 28–29 (in Russian).
20. Bakirov I. K. Disadvantages of determination methods of design values of fire risk. In: *Environmental problems of oil production. Proceedings of All-Russian Scientific Conference*. Ufa, Ufa State Oil Technical University Publ., 2010, pp. 16–17 (in Russian).
21. Bakirov I. K. What should be changed, that effectively to check objects on the matter of fire safety. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve / Fire Safety in Construction*, 2011, no. 4, pp. 42–46 (in Russian).

**For citation:** Bakirov I. K., Chelekova E. Yu. Universal fire trunk. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 69–76 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.69-76.

© **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ**, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: h\_a\_s@live.ru)

УДК 614.841.315

## ТРЕБОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ К СОБСТВЕННИКАМ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ ПРИ СМЕНЕ КАТЕГОРИИ И ЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ

Рассмотрены нормативные требования пожарной безопасности, предъявляемые к собственникам объектов защиты, при смене вида производственной деятельности, категории помещения по пожарной и взрывопожарной опасности, а также класса функциональной пожарной опасности. Представлен порядок действий собственника по обеспечению пожарной безопасности нежилого помещения при его перепланировке или смене целевого назначения. Отмечены сроки подготовки и подачи необходимой документации в органы государственного пожарного надзора для проверки и утверждения предлагаемых объемно-планировочных и технических решений.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность; собственность; категории помещения; класс функциональной пожарной опасности; государственный пожарный надзор.



### ВОПРОС:

Категорирование зданий, сооружений и помещений по пожарной и взрывопожарной опасности является обязательным условием обеспечения их пожарной безопасности. На основе категорий определяются основные конструктивно-планировочные и технические решения по обеспечению безопасной эвакуации людей при возникновении пожара, а также по поддержанию бесперебойного функционирования промышленных предприятий.

Категория помещения может быть определена через его целевое (торговые, производственные, складские, коммунально-бытовые, офисные, медицинские, образовательные, спортивные, свободного назначения и др.) и функциональное (основные, вспомогательные, обслуживающие, технические и т. д.) назначение.

Зачастую арендаторы или собственники нежилых помещений изменяют целевое назначение отдельных помещений без согласования с Роспотребнадзором, а также органами государственного пожарного надзора и бюро технической инвентаризации (БТИ). Такие изменения могут привести к созданию пожароопасной и даже взрывоопасной обстановки на объекте защиты.

Какие нормативные требования пожарной безопасности предъявляются к арендаторам и собственникам нежилых помещений при смене их целевого назначения и категории по пожарной и взрывопожарной опасности?

### ОТВЕТ:

Наличие на дверях помещений производственного и складского назначения обозначения их

категорий по взрывопожарной и пожарной опасности является одним из обязательных требований Правил противопожарного режима в Российской Федерации (далее — ППР) [1]. Категория здания или помещения определяется согласно требованиям СП 12.13130 [2].

Помимо этого, все здания (сооружения), пожарные отсеки, помещения или группы помещений, функционально связанные между собой, разделяются по классу функциональной пожарной опасности (далее — класс ФПО) в зависимости от их целевого назначения (см. ст. 32 ФЗ-123 [3]). Поэтому собственник или арендатор (далее — пользователь) помещения должен использовать его по прямому назначению, указанному в экспликации БТИ.

Если пользователь решил сменить вид производственной деятельности (например, для медицинских услуг, детских садов, услуг общественного питания и т. д.), совпадающей с указанным назначением в экспликации БТИ, то получать дополнительные разрешения о ведении такой деятельности в нежилом помещении не нужно при условии соответствия данного помещения категории по взрывопожарной и пожарной опасности и классу ФПО. В некоторых случаях может потребоваться перепланировка или доукомплектование помещения различным техническим оборудованием. Такие мероприятия могут повлиять на категорию помещения, которая зависит напрямую от вида горючего материала и его количества (пожарная нагрузка). В этом случае пользователь должен выполнить расчет категории помещения самостоятельно или с привлечением специалистов, а также указать в документации к расчету конкретные технические решения, обеспе-

чивающие пожарную безопасность при ведении производственной деятельности. Изменение планировки требует обоснования безопасной эвакуации людей (см. ст. 53 ФЗ-123 [2]), рассчитываемой по методике, утвержденной приказом МЧС России № 382 [4].

Если же обычное служебное помещение или офис с постоянным пребыванием людей решено превратить в склад, то в таком случае речь будет идти о смене целевого назначения этого помещения, а значит, и его класса ФПО, в том числе категории по взрывопожарной и пожарной опасности. Это повлечет за собой изменение конструктивно-планировочных особенностей помещения (материал ограждающих конструкций и заполнения проемов, степень их огнестойкости и т. д.), определяемых по СП 2.13130 [5] и СП 4.13130 [6].

При отсутствии у пользователя необходимых расчетных и технических обоснований инспектор ГПН может привлечь его к административной ответственности за нарушение п. 23 ППР [1], согласно которому на объектах защиты запрещается изменять (без проведения предварительной экспертизы) предусмотренный документацией класс ФПО помещения или группы помещений.

Измененные данные должны быть внесены в течение одного года в декларацию пожарной безопасности, в противном случае при проведении проверки инспектор ГПН отметит это как нарушение п. 3 ст. 64 ФЗ-123 [2]. Форма и порядок регистрации декларации пожарной безопасности изложен в приказе МЧС России № 91 [7].

Для исключения вышеперечисленных нарушений пользователь может выполнить независимую оценку пожарного риска (далее — НОР), которая является альтернативой проверки инспектором ГПН и может проводиться только аккредитованными организациями. В случае принятия заключения НОР органами ГПН до утверждения ежегодного плана проверки объект защиты не включается в план на срок, указанный для соответствующей объекту категории риска (см. п. 48 и прил. 9 Приказа МЧС России № 644 [8]). Правила проведения НОР утверждены постановлением Правительства РФ № 304 [9].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (в ред. 30.12.2017) : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 // Собрание законодательства РФ. — 2012. — № 19, ст. 2415.
2. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с изм. № 1) : приказ МЧС России от 25.03.2009 № 182; введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 29.07.2017) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.

4. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (с изм. на 02.12.2015) : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382; введ. 08.09.2009 // Российская газета. — 2009. — № 161.

5. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты (с изм. № 1) : приказ МЧС России от 21.11.2012 № 693; введ. 01.12.2012. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2012.

6. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям : приказ МЧС России от 24.04.2013 № 288; введ. 24.06.2013. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2013.

7. Об утверждении формы и порядка регистрации декларации пожарной безопасности (с изм. на 21.06.2012) : приказ МЧС России 24.02.2009 № 91; введ. 01.05.2009 // Нормирование в строительстве и ЖКХ. — 2009. — № 3.

8. Административный регламент Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий исполнения государственной функции по надзору за выполнением требований пожарной безопасности : приказ МЧС России от 30.11.2016 № 644; введ. 27.01.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420385845> (дата обращения: 25.12.2017).

9. Правила оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем независимой оценки пожарного риска (с изм. на 15.08.2014) : постановление Правительства РФ от 07.04.2009 № 304 // Собрание законодательства РФ. — 2009. — № 15, ст. 1836.

**Для цитирования:** Харламенков А. С. Требования пожарной безопасности к собственникам объектов защиты при смене категории и целевого назначения помещений // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 1. — С. 77-79.

English

## FIRE SAFETY REQUIREMENTS FOR OWNERS OF THE PROTECTION OBJECTS BY CHANGING THE CATEGORY AND PURPOSE PREMISES

**KHARLAMENKOV A. S.**, Senior Lecturer, Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: [h\\_a\\_s@live.ru](mailto:h_a_s@live.ru))

**ABSTRACT**

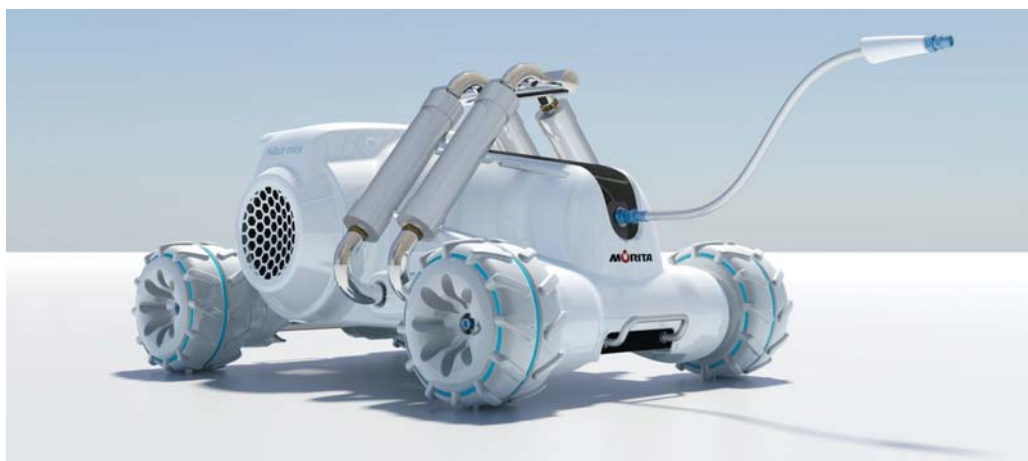
The normative fire safety requirements for owners of protection objects are considered, with a change in the type of industrial activity, the category of premises for fire and explosion risk, as well as the class of functional fire danger. It is presented the order of procedures of the owner to ensure the non-residential premises of fire safety during its redevelopment and change of purpose. The terms for preparing and submitting the necessary documentation to the state fire supervision authority for checking and approving

the proposed volume-planning or technical solutions were noted.

**Keywords:** fire safety; property; premise category; class of functional fire hazard; state fire safety supervision.

**For citation:** Kharlamenkov A. S. Fire safety requirements for owners of the protection objects by changing the category and purpose premises. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 77-79 (in Russian).

## НАВОТ-MINI — МИНИАТЮРНАЯ ПОЖАРНАЯ МАШИНА, ПОБЕЖДАЮЩАЯ ПОЖАР БЕЗ ВОДЫ



Японская компания Morita Holdings Corporation разработала прототип миниатюрной пожарной машины, которая обходится без воды и вообще не перевозит каких-либо тушащих огонь веществ. С огнем она борется другим методом.

Машина, получившая название Habet-mini, по размерам не превосходит детский трехколесный велосипед и весит 50 кг. Тушение пожара она осуществляет с помощью струи азота, который сама же добывает из воздуха. В машине есть компрессор, качающий воздух, а также установка, отделяющая от него кислород. После прохождения через установку количество кислорода в струе воздуха снижается с 21 до 12,5 %, соответственно доля азота повышается с 78 до 86,5 %.

Обогащенный азотом воздух в виде сильной струи подается к источнику огня. Горение в атмосфере с таким низким содержанием кислорода сильно затруднено, поэтому при достаточно долгой работе Habet-mini пламя неминуемо гаснет. Для человека краткосрочное нахождение в атмосфере с таким низким содержанием кислорода не несет большой опасности. Аналогичное количество кислорода человек получал бы при дыхании на высоте примерно 5 км.

Тушение огня азотом может быть эффективно при пожарах в таких местах, как библиотеки, дата-центры или музеи, где большое количество воды может нанести огромный вторичный ущерб.

Разработчики планируют выпустить Habet-mini на коммерческий рынок примерно через 2–3 года.

<https://zumim.com/habet-mini-miniaturная-pozharnaya-mashina-pobezhdayushhaya-pozhar-bez-vodyi.html>

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” 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 в редакцию в электронном виде по адресу [info@fire-smi.ru](mailto: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](http://www.fire-smi.ru).

*Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.*

**2.1.** Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

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

**2.3.** Информация об авторах.

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

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

**2.3.2.** Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, страну, индекс, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес всех или хотя бы одного из авторов. При этом не следует приводить составные части названий организаций, обозначающие принадлежность ве-

домству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), так как это затрудняет идентификацию организации. 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).*

**2.4.** Аннотация на русском языке должна состоять не менее чем из 5–7 предложений и не должна содержать обобщенные данные по выбранной для статьи теме. Аннотация к научной статье представляет собой краткое описание содержания изложенного текста (т. е.: “Изучены..., проанализированы..., представлены...” и т. п.).

**2.5.** 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);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- 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 250–300 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы).

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 рекомендуется 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.

**2.6.** Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или 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. 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.

**2.7.** 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.

Для двуязычного представления табличного и графического материала необходимо прислать перевод на английский язык:

- для таблицы: ее названия, шапки, боковика, текста во всех строках, сносок и примечаний;
- для рисунка: подписочной подписи и всех текстовых надписей на самом рисунке;
- для схемы: подписи к ней и всего содержания самой схемы.

## 2.8. 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 и т. п.). При этом процент ссылок на статьи из иностранных научных журналов и других иностранных источников должен быть не ниже 40 %. Выполнение данного требования будет свидетельствовать о том, что авторы используют предыдущие научные достижения в необходимой мере.

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 науч-

ной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.disscat.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.

**2.9. 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 принят. Произвольное сокращение названий источников цитирования приведет к невозможности идентифицировать ссылку в электронных базах данных.

При составлении References необходимо следовать схеме:

- авторы (транслитерация; для ее написания используйте сайт <http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>, обязательно включив в настройках справа вверх 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:* Sokolov D. N., Vogman L. P., Zuykov V. A. Microbiological spontaneous ignition. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 1, pp. 35–48 (in Russian) (другие примеры см. [www.fire-smi.ru](http://www.fire-smi.ru)).

3. К статьям следует прилагать рецензию стороннего специалиста (т. е. он не должен быть связан с местом работы (учебы) авторов статьи), которая должна быть подписана рецензентом (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью. Все рецензенты должны являться признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и иметь в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Обращаем Ваше внимание, что рецензент не должен входить в Редакционный совет нашего журнала.

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

5. В случае получения замечаний в ходе внутреннего рецензирования статьи авторы должны предоставить доработанный вариант текста 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.

6. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

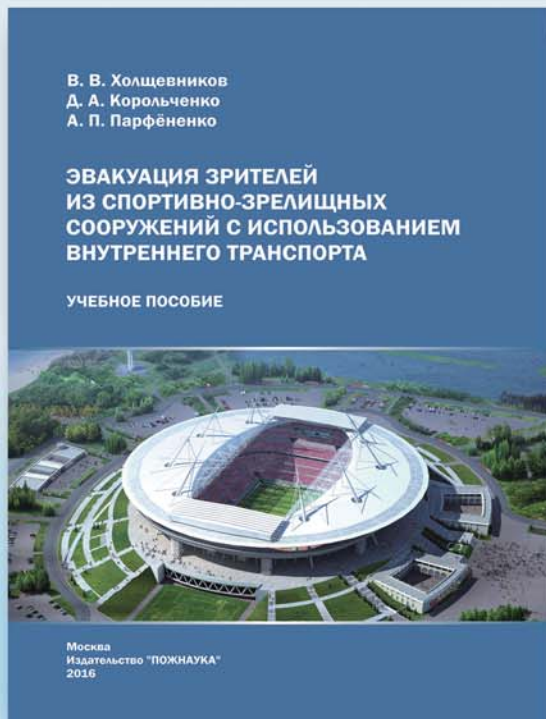
Предпечатная подготовка статей оплачивается за счет средств подписчиков и третьих лиц, заинтересованных в публикации.

Редакция оставляет за собой право считать, что авторы, предоставившие рукопись для публикации в журнале “Пожаровзрывобезопасность”, согласны с условиями публикации или отклонения рукописи, а также с правилами ее оформления!



# ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию



Учебное пособие

Холщевников В. В., Корольченко Д. А., Парфёненко А. П.

## ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

М. : Изд-во «ПОЖНАУКА», 2016. — 88 с.

Впервые в практике архитектурно-строительного преподавания рассмотрена методология учета важнейшего функционального процесса — движения людских потоков с использованием эскалаторов и лифтовых установок при различных режимах эксплуатации зданий, включая чрезвычайную ситуацию пожара, на примере реального объекта с большим количеством находящихся в нем людей.

121352, г. Москва, а/я 43  
тел. (495)228-09-03  
e-mail: [mail@firepress.ru](mailto:mail@firepress.ru)

Межрегиональная  
специализированная выставка

# СТРОИТЕЛЬСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ИНФРАСТРУКТУРА

г. Курган

СК им. В.Ф. Горбенко, ул.Сибирская, 1

**25-27 апреля 2018г.**



Стройиндустрия  
Промышленность

Жилищно-коммунальная  
инфраструктура

Транспорт  
Безопасность  
Связь

*Организаторы:*

Правительство Курганской области,  
ООО "Выставочная компания Сибэкспосервис"  
г.Новосибирск

тел.: (383) 335 63 50 - многоканальный,  
e-mail: vk ses@yandex.ru,  
www.ses.net.ru

**СИБЭКСПО SERVICE**

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

**Продолжается  
подписка  
на журнал**

# 2018

## **ПОЖАРОВЗРЫВО- БЕЗОПАСНОСТЬ**



По вопросам подписки  
просьба обращаться  
по тел.: (495) 228-09-03,  
8-909-940-01-85 или  
по e-mail [info@fire-smi.ru](mailto:info@fire-smi.ru)

- Стоимость подписки на 1-е полугодие 2018 г. (6 номеров) — 6840 руб.
- Стоимость годовой подписки (12 номеров) — 12960 руб.

### **ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ:**

- Стоимость подписки на 1-е полугодие 2018 г. (6 номеров) — 4920 руб.
- Стоимость годовой подписки (12 номеров) — 9360 руб.

### **ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:**

- через ООО “Издательство “Пожнаука”;
- ЧЕРЕЗ ПОДПИСНЫЕ АГЕНТСТВА:
- ООО “Урал-Пресс”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой);
- ООО “Агенство “Книга Сервис”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой);
- ЗАО “ПРЕССИНФОРМ”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой)



29-30 мая 2018  
Экспоцентр  
Москва

Конференция  
и выставка  
по технологиям  
и транспортировке  
сыпучих материалов

РЕКЛАМА

[www.solids-russia.ru](http://www.solids-russia.ru)



# ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет

Научно-  
исследовательские  
и сертификационные  
испытания:

- ♦ железобетонных конструкций
- ♦ противопожарных преград
- ♦ легкобрасываемых конструкций
- ♦ фасадных систем
- ♦ палуб, переборок

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

[www.ikbs-mgsu.com](http://www.ikbs-mgsu.com)

Свидетельство о признании  
Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.  
РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.