

4-2019

FIRE and EXPLOSION
SAFETY

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



СКОЛЬКО ЧЕЛОВЕК
ПОГИБАЕТ
ПРИ ПОЖАРАХ
В МИРЕ?

УЧРЕДИТЕЛЬ и ИЗДАТЕЛЬ — ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

Адрес:

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

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

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

Префикс DOI: 10.18322

РЕДАКЦИЯ:

Зав. редакцией **Корольченко О. Н.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

Адрес редакции:

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

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 6.

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 12.08.2019.

Выход в свет 23.08.2019.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ООО "Гран При"
(Россия, 152900, г. Рыбинск,
ул. Орджоникидзе, д. 57).

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Корольченко А. Я., д. т. н., профессор, академик МАНЭБ (Национальный иссле-
довательский 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 политехни-
ческий 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)

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

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

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 исследовательский
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)

Мальгин 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF COMPLEX SAFETY

А. Б. СИВЕНКОВ, С. Ю. ЖУРАВЛЕВ,
Ю. Ю. ЖУРАВЛЕВ, М. В. МЕДЯНИК
Об эффективности применения противопожарных
дверей в снижении предельно допустимых
значений опасных факторов пожара и величины
пожарного риска в зданиях и сооружениях
различного функционального назначения

6

A. B. SIVENKOV, S. Yu. ZHURAVLEV,
Yu. Yu. ZHURAVLEV, M. V. MEDYANIK
About efficiency of application of fire-prevention
doors in reduction of dangerous factors
of the fire and size of fire risk in buildings
and constructions of various functional
purpose

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES

О. П. КОРОБЕЙНИЧЕВ, И. Е. ГЕРАСИМОВ,
М. Б. ГОНЧИКЖАПОВ, А. Г. ТЕРЕЩЕНКО, Р. К. ГЛАЗНЕВ,
С. А. ТРУБАЧЕВ, А. Г. ШМАКОВ, А. А. ПАЛЕЦКИЙ,
А. И. КАРПОВ, А. А. ШАКЛЕИН, А. КУМАР, В. РАГХАВАН
Экспериментальное исследование и численное
моделирование распространения пламени
по поверхности пластины ПММА

15

O. P. KOROBEGINICHEV, I. E. GERASIMOV, M. B.
GONCHIKZHAPOV, A. G. TERESHCHENKO, R. K. GLAZNEV,
S. A. TRUBACHEV, A. G. SHMAKOV, A. A. PALETSKY,
A. I. KARPOV, A. A. SHAKLEIN, A. KUMAR, V. RAGHAVAN
An experimental study and numerical
simulation of flame spread over surface
of PMMA slab

Е. С. МАРКУС, А. Ю. СНЕГИРЕВ, Е. А. КУЗНЕЦОВ,
Л. Т. ТАНКЛЕВСКИЙ, А. В. АРАКЧЕЕВ
Численное моделирование распространения пламени
по дискретной совокупности горючих материалов

29

E. S. MARKUS, A. Yu. SNEGIREV, E. A. KUZNETSOV,
L. T. TANKLEVSKIY, A. V. ARAKCHEEV
Simulation of flame spread
over discrete fire load

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ELECTRICAL ENGINEERING

А. И. НЕДОБИТКОВ
Особенности токовой перегрузки в автомобильной
электрической сети

42

A. I. NEDOBITKOV
Peculiarities of current overload
in the car electric network

СТАТИСТИКА И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

STATISTICS AND SYSTEM ANALYSIS

Н. Н. БРУШЛИНСКИЙ, С. В. СОКОЛОВ, О. В. ИВАНОВА
Сколько человек погибает при пожарах в мире?

51

N. N. BRUSLINSKIY, S. V. SOKOLOV, O. V. IVANOVA
How many fire deaths are in the world?

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА

AUTOMATED SYSTEMS AND MEANS

Л. М. МЕШМАН, В. А. БЫЛИНКИН, Ю. И. ГОРБАНЬ,
М. Ю. ГОРБАНЬ, К. Ю. ФОКИЧЕВА
Актуальные проблемы навигации на очаг пожара
пожарных роботизированных стволов
в роботизированных установках пожаротушения.
Часть 2. Программы управления ПРС при тушении
статическими струями с учетом компоновки ПРС
относительно очага пожара

63

L. M. MESHMAN, V. A. BYLINKIN, Yu. I. GORBAN,
M. Yu. GORBAN, K. Yu. FOKICHEVA
Actual problems of navigation to the fire robotic
trunks in robotic fire extinguishing system.
Part 2. RFM operating programs
for fire extinguishing with static streams
considering RFMs positioning
to fire area

Д. М. ГОРДИЕНКО, В. И. ЛОГИНОВ, Ю. Н. ОСИПОВ,
В. И. ЕРШОВ, Е. Д. МИХАЙЛОВА
Проблемы использования беспилотных авиационных
систем для тушения пожаров в зданиях
повышенной этажности

82

D. M. GORDIENKO, V. I. LOGINOV, Yu. N. OSIPOV,
V. I. ERSHOV, E. D. MIKHAYLOVA
On unmanned aircraft systems application
for fire extinguishing in high-rise
buildings

ВОПРОС – ОТВЕТ

QUESTION – ANSWER

А. С. ХАРЛАМЕНКОВ
Новая классификация взрывоопасных зон

92

A. S. KHARLAMENKOV
New classification of hazardous areas

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

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

<https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.04.6-14>

УДК 614.841.3

Об эффективности применения противопожарных дверей в снижении предельно допустимых значений опасных факторов пожара и величины пожарного риска в зданиях и сооружениях различного функционального назначения

© А. Б. Сивенков¹, С. Ю. Журавлев², Ю. Ю. Журавлев², М. В. Медяник^{3✉}

¹ Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

² ООО "НИЭЦ ПБ" (Россия, 129343, г. Москва, ул. Докукина, 8, стр. 2, офис 314)

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

РЕЗЮМЕ

Введение. В настоящий момент положения нормативных документов, регламентирующих расчеты величины пожарного риска, нуждаются в актуализации и уточнении в узконаправленных проблемных вопросах.

Методика. Существующая нормативная база представлена по большей части ведомственным приказом МЧС России. По мере развития технологий пожаротушения и противопожарного нормирования, а также расчетных методов, способных смоделировать ту или иную аварийную ситуацию, расширились возможности обоснования различных сценариев развития пожара. Опыты расчетов по объектам разного функционального назначения, выполненных ведущими научными организациями нашей страны, а также специалистами, занимающимися расчетами пожарных рисков, показали актуальность и необходимость внесения изменений и уточнений в нормативную базу, регламентирующую данные виды работ. В то же время следует особо отметить тот факт, что вышеуказанные ведомственные нормы и рекомендации, несмотря на их практическую значимость, не рассматривают вопрос об использовании противопожарных дверей в практических целях и не могут служить тем задачам, которые ставит перед собой современность.

Результаты и обсуждение. Вследствие имеющихся проблем в проектировании и прохождении государственной экспертизы сдаче объектов в эксплуатацию органам стройнадзора и надзору за объектами, уже эксплуатируемыми органами государственного пожарного надзора МЧС России, практически повсеместно предшествует процедура разработки расчетов величины пожарного риска для подтверждения соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности. Особенность проведения таких расчетов заключается прежде всего в необходимости представления таковых на конкретный объект капитального строительства. При этом в ряде случаев даже наличие всех систем противопожарной защиты здания не обеспечивает безопасность людей по разным причинам, главной из которых является быстрая блокировка опасными факторами пожара путей эвакуации и, как следствие, гибель людей.

Выводы. Вопрос учета использования противопожарных дверей при расчетах пожарного риска, не раз применяемых на различных объектах защиты и подтвердивших свою эффективность на существующих объектах, представляется целесообразным отразить в соответствующих нормативных документах, что в значительной степени будет способствовать улучшению фактической безопасности людей.

Ключевые слова: пожар; пожарная безопасность; практическое применение методики; системы противопожарной защиты; обоснование исходных данных; расчет риска.

Для цитирования: Сивенков А. Б., Журавлев С. Ю., Журавлев Ю. Ю., Медяник М. В. Об эффективности применения противопожарных дверей в снижении предельно допустимых значений опасных факторов пожара и величины пожарного риска в зданиях и сооружениях различного функционального назначения // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. – 2019. – Т. 28, № 4. – С. 6–14. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.6-14.

✉ Медяник Михаил Валерьевич, e-mail: mihalmed@yandex.ru

About efficiency of application of fire-prevention doors in reduction of dangerous factors of the fire and size of fire risk in buildings and constructions of various functional purpose

© Andrew B. Sivenkov¹, Sergey Yu. Zhuravlev², Yuri Yu. Zhuravlev², Mikhail V. Medyanik^{3✉}

¹ State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation)

² NIEC PB LLC (Dokukina St., 8, bldg. 2, office 314, Moscow, 129343, Russian Federation)

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. At the moment, the provisions of regulatory documents governing fire risk calculations need updating and clarification in narrowly focused problem issues.

Methods. The existing regulatory framework is presented for the most part by the departmental order of Emercom of Russia. With the development of fire-fighting and fire-fighting technologies, as well as computational methods capable of simulating this or that emergency situation, the possibility of substantiating various fire development scenarios has expanded. Experiments on calculations for objects of various functional purposes, issued by leading scientific organizations of our country, as well as specialists involved in fire risk calculations, have shown the relevance and the need for changes and clarifications in the regulatory framework governing these types of work. At the same time, it should be noted that the above-mentioned departmental norms and recommendations, despite their practical significance, do not reflect the issue of using fire doors for practical purposes and cannot serve the tasks that modernity sets for itself.

Results and discussion. Due to the existing problems of design and state examination, commissioning of construction supervision bodies and supervision of objects already operated by state fire supervision authorities Emercom of Russia, is almost universally preceded by the development of fire risk calculations in order to confirm fire protection objects. The peculiarity of such calculations is, first of all, the need to present those to a specific capital construction object, while in some cases even the presence of all the fire protection systems of a building does not ensure people's safety due to various reasons. The main one of which is the rapid blocking of evacuation routes by fire and resulting in death of people.

Conclusions. The use of fire doors in the calculations of fire risk, which are used more than once at various protection facilities and confirmed their effectiveness at the implemented facilities, seems appropriate to reflect in the relevant regulatory documents, which will greatly improve the actual safety of people.

Keywords: fire; fire hazards; practical application of the methodology; fire protection system; justification of the accepted initial data; risk calculating.

For citation: A. B. Sivenkov, S. Yu. Zhuravlev, Yu. Yu. Zhuravlev, M. V. Medyanik. About efficiency of application of fire-prevention doors in reduction of dangerous factors of the fire and size of fire risk in buildings and constructions of various functional purpose. *Požarovzryvobezопасnost' / Fire and Explosion Safety*, 2019, vol. 28, no. 4, pp. 6–14 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2019.28.04.6-14.

✉ Mikhail Valeryevich Medyanik, e-mail: mihalmed@yandex.ru

Введение

Обеспечение пожарной безопасности для зданий и сооружений жилого, общественного и промышленного назначения согласно положениям ФЗ № 69 [1] является важнейшей государственной задачей. Наиболее эффективный инструмент оценки уровня обеспечения пожарной безопасности — независимая оценка пожарного риска, включающая в себя: оценку соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности, проверку соблюдения организациями и гражданами противопожарного режима. Данные процедуры должны проводиться не заинтересованным в результатах оценки или проверки экспертом в области оценки пожарного риска.

Для установления соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности (Федеральный закон № 123-ФЗ) (далее — ФЗ № 123) [2] и нормативно-правовыми актами Российской Федерации регламентируется процедура проведения оценки пожарного риска.

Оценка пожарного риска осуществляется путем определения расчетных величин пожарного риска на объекте защиты и сопоставления их с соответствующими нормативными значениями, установленными в соответствии с ФЗ № 123 [2]. Расчетные величины пожарного риска являются количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей.

Расчет пожарных рисков для общественных зданий проводится по методике, утвержденной приказом МЧС России № 382 [3] (далее — Методика), с учетом изменений, внесенных в нее в 2011 и 2015 гг. [4].

В соответствии с положениями, изложенными в разд. IV п. 21 Методики [3], в случае если расчетная величина индивидуального пожарного риска превышает нормативное значение, в здании следует предусмотреть дополнительные противопожарные мероприятия, направленные на снижение величины пожарного риска. К числу таких мероприятий относятся [3]:

- применение дополнительных объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара;
- устройство дополнительных эвакуационных путей и выходов;
- установка систем оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей повышенного типа;
- организация поэтапной эвакуации людей из здания;
- применение систем противодымной защиты;
- устройство систем автоматического пожаротушения;
- ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуации из здания.

Одним из наиболее распространенных мероприятий, способных ограничивать развитие опасных

факторов пожара (ОФП), а также снижать величину пожарного риска, является применение противопожарных дверей. Однако вопрос эффективности противопожарных дверей в плане снижения вероятности воздействия ОФП на людей и уменьшения величины пожарного риска не имеет нормативной и методической проработки.

Вследствие этого на практике при оценке величины пожарного риска на объекте защиты возможность применения противопожарных дверей с устройствами для самозакрывания (доводчиками) для вышеуказанных целей фактически не учитывается.

С учетом вышеизложенного для исключения фактов некомпетентного применения требований федеральных законов и нормативных документов авторами поставлена задача: установить эффективность применения противопожарных дверей в плане снижения предельно допустимых значений ОФП и величины пожарного риска в общественных зданиях; обосновать необходимость учета применения противопожарных дверей при определении динамики нарастания опасных факторов пожара, что окажется полезным в практике применения требований нормативно-правовых документов или при разрешении возникающих спорных ситуаций.

Методика расчета и используемые программные комплексы

В соответствии с требованиями Методики [3] определение расчетных величин пожарного риска для зданий и сооружений осуществляется на основании:

- анализа пожарной опасности здания;
- определения частоты реализации пожароопасных ситуаций;
- построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей при различных сценариях его развития;
- наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания.

Одной из ключевых позиций расчета пожарного риска, непосредственным образом влияющей на трудоемкость, стоимость, а в конечном счете и на правильность выводов расчета, является построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития.

На основании требований Методики [3] при проведении расчета должны быть приняты самые неблагоприятные сценарии развития пожара, определяемые на основе анализа горючей нагрузки и путей распространения ОФП.

Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития осуществляется с целью определить необходимое время эвакуации людей, которое рассчитывается как произведение критической для человека продолжительности пожара на коэффициент безопасности. Предполагается, что каждый опасный фактор пожара воздействует на человека независимо от других [3].

Критическая продолжительность пожара для людей определяется из условия достижения одним из ОФП своего предельно допустимого значения, которое устанавливается расчетом. С учетом разд. II Методики [3] выбирается метод моделирования, формулируется математическая модель, соответствующая определенному сценарию, и проводится моделирование динамики развития пожара. На основании полученных результатов рассчитывается время достижения каждым из опасных факторов пожара предельно допустимого значения на путях эвакуации.

Согласно требованиям Методики [3] применяются три основные группы математических моделей для определения динамики нарастания ОФП — интегральные, зонные (зональные) и полевые.

Ст. 89 № 123-ФЗ [2] требует организации безопасной (своевременной и беспрепятственной) эвакуации людей из здания. Кроме того, согласно требованиям Методики [3] при определении расчетных величин пожарного риска требуется установить вероятность эвакуации людей.

Под своевременностью эвакуации понимается необходимость покинуть здание при пожаре до достижения в помещениях и на путях эвакуации предельно допустимых уровней воздействия на людей опасных факторов пожара, определяемого динамикой их распространения при различных вариантах функционирования систем защиты. Своевременность эвакуации является краеугольным камнем обеспечения пожарной безопасности здания в целом и решающим фактором, влияющим на величину пожарного риска. В случае несоблюдения условия своевременности эвакуации людей величина пожарного риска априори будет превышать нормативное значение, установленное статьей 79 № 123-ФЗ [2], что детально было рассмотрено в различных работах зарубежных и отечественных экспертов в области обеспечения пожарной безопасности [5–18].

Таким образом, основной задачей при проведении расчета пожарного риска будет построение полей опасных факторов пожара в целях определения времени достижения ими предельных значений.

В настоящее время в Российской Федерации существует несколько программных комплексов, реализующих положения Методики [3] и позволяющих выполнить оценку пожарного риска в соответствии со ст. 79 № 123-ФЗ [2].

Среди большого многообразия различных программных комплексов наибольшее распространение получили именно те, которые реализуют полевую модель развития пожара и индивидуально-поточную модель движения людских потоков, а именно: “Fenix+2”, “Fogard”, “Сигма ПБ”, “PyroSim”, “Pathfinder”. Этим программам отдают предпочтение большинство специалистов, проводящих расчеты пожарного риска. При этом стоит отметить, что при моделировании пожара с помощью указанных программных комплексов используется модуль FDS (Fire Dynamic Simulator), разработанный в научно-исследовательской лаборатории по пожарной безопасности Национального института стандартов и технологий (NIST) США. Исключение составляет программа “Сигма ПБ”, которая для выполнения расчетов распространения ОФП и проведения эвакуации использует вычислительные ядра отечественных программ соответственно Sigma Fire и Sigma Eva, в которых реализованы полевая модель пожара и модель эвакуации индивидуально-поточного движения людских потоков.

В указанных программах при проведении расчетов опасных факторов пожара можно смоделировать установку противопожарных дверей с наличием устройства самозакрывания (доводчика) для ограничения распространения пожара. Следует также отметить, что требования к оснащению противопожарных дверей устройством самозакрывания (доводчиком) изложены в ГОСТ Р 56177–2014 “Устройства закрывания дверей (доводчики). Технические условия”. Из вышеизложенного следует вывод о том, что оценка возможности применения противопожарных дверей на путях эвакуации при проведении расчетов пожарного риска в настоящее время технически реализуема.

Для проведения подобной оценки было выполнено моделирование динамики развития пожара по полевой модели с помощью программы FDS (Fire Dynamic Simulator).

Кроме того, было реализовано моделирование эвакуации людей с использованием индивидуально-поточной модели движения людей с помощью программного комплекса Fenix+2.

Результаты и их обсуждение

При проведении расчета величины пожарного риска для объектов общественного назначения основная задача состояла в оценке возможности использования противопожарных дверей в целях ограничения распространения пожара в рамках применения для его обеспечения дополнительных объемно-планировочных решений и средств.

Обоснование возможности применения проектного решения по установке противопожарных две-

рей рассмотрено на примере расчета и сравнения времени эвакуации с временем блокирования расчетных точек для двух вариантов:

- с применением противопожарных дверей;
- без применения противопожарных дверей.

Мерой воздействия опасных факторов пожара на людей является соотношение времени блокирования ими путей эвакуации и времени эвакуации. Объемно-планировочные решения взяты для подвального помещения здания общественного назначения с двумя эвакуационными выходами.

По результатам исследования предполагается сформулировать вывод о возможности или невозможности ограничения распространения пожара посредством установки противопожарных дверей при обосновании распространения ОФП в рамках проведения расчета пожарного риска.

Выбор расчетной модели базируется на анализе объемно-планировочных решений объекта и особенностях сценария развития пожара.

Полевая модель прогнозирования опасных факторов пожара является наиболее универсальной из существующих детерминированных моделей, поскольку она основана на решении уравнений в частных производных в каждой точке расчетной области. С помощью полевой модели прогнозирования ОФП возможно рассчитать температуру в помещении очага пожара и в смежных помещениях, скорость движения воздушных потоков, концентрацию токсичных продуктов горения и т. д. в каждой точке расчетной области [19]. Следовательно, полевая модель может обоснованно использоваться:

- для научных исследований в целях выявления закономерностей развития пожара;
- при сравнительных расчетах в целях апробации и совершенствования зональных и интегральных моделей как менее универсальных в точностном и качественном отношениях, а также при проверке обоснованности их применения [20];
- при выборе рационального варианта противопожарной защиты конкретных объектов защиты.

В своей основе полевая модель не содержит никаких априорных допущений и благодаря этому принципиально применима для моделирования различных сценариев развития пожара.

С учетом вышеизложенного моделирование динамики развития пожара проводилось с использованием полевой модели с помощью программы FDS.

В качестве исходных данных был принят подвал общественного здания с расположенными в нем офисами (два помещения) и кладовой (одно помещение).

В качестве помещения очага пожара с размещением пожарной нагрузки была принята кладовая, расположенная по центру модели (подвального этажа),

Таблица 1. Параметры пожарной нагрузки**Table 1.** Fire load parameters

Параметр Parameter	Единица измерения Unit of measurement	Значение Value
Низшая теплота сгорания Net calorific value	кДж/кг kJ/kg	14000
Линейная скорость распространения пламени Linear flame propagation speed	м/с m/sec	0,042
Удельная массовая скорость выгорания Specific mass burnout rate	кг/(м ² ·с) kg/(m ² ·sec)	0,0129
Коэффициент полноты сгорания Combustion ratio	–	0,93
Удельная мощность Power density	кВт/м ² kW/m ²	167,958
Дымообразующая способность Smoke forming ability	Нп·м ² /кг Np·m ² /kg	53
Потребление кислорода (O ₂) Oxygen consumption (O ₂)	кг/кг kg/kg	1,161
Выделение углекислого газа (CO ₂) / CO ₂ release	кг/кг kg/kg	0,642
Выделение угарного газа (CO) Carbon monoxide (CO) emissions	кг/кг kg/kg	0,0317
Выделение хлористого водорода (HCl) Isolation of hydrogen chloride (HCl)	кг/кг kg/kg	0

с типовой пожарной нагрузкой, характерной для подсобных и бытовых помещений. Сведения о принятых параметрах пожарной нагрузки принимались на основании данных, приведенных в пособии [21] (табл. 1).

Моделировалась динамика развития пожара в течение 240 с.

На этаже подвала регистраторы располагали на уровне 1,7 м (на высоте 1,7 м от уровня этажа) (рис. 1).

В соответствии с объемно-планировочными решениями здания, геометрическими размерами эвакуационных путей и выходов, а также с известными особенностями поведения людей при пожарах (движение к более широким и хорошо заметным выходам, выбор более короткого пути эвакуации, использование знакомых маршрутов движения и т. п.) был проведен расчет времени эвакуации людей с учетом наличия системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) 2-го типа. В расчете было принято, что на этаже подвала находится 13 чел. Анализ времени прохождения людей через регистраторы представлен в табл. 2.

Результаты сравнительного анализа блокирования путей эвакуации ОФП с учетом открытых дверных проемов (в случае использования типовых дверей) продемонстрированы на рис. 2.

Как видно из рис. 2, еще до начала эвакуации людей из офисных помещений пути эвакуации оказались заблокированными, а значит, требование табл. 5.1 Методики [3] с учетом времени начала эвакуации не выполнено.

Для оценки распространения опасных факторов пожара по путям эвакуации с учетом наличия противопожарных дверей с доводчиком было проведено моделирование распространения ОФП по подвалу здания (рис. 3).

После возгорания начинается процесс эвакуации людей из помещений в коридор подвала. На 31-й секунде от начала возгорания происходит закрытие противопожарной двери в помещении очага пожара (кладовой) посредством доводчика (рис. 4).

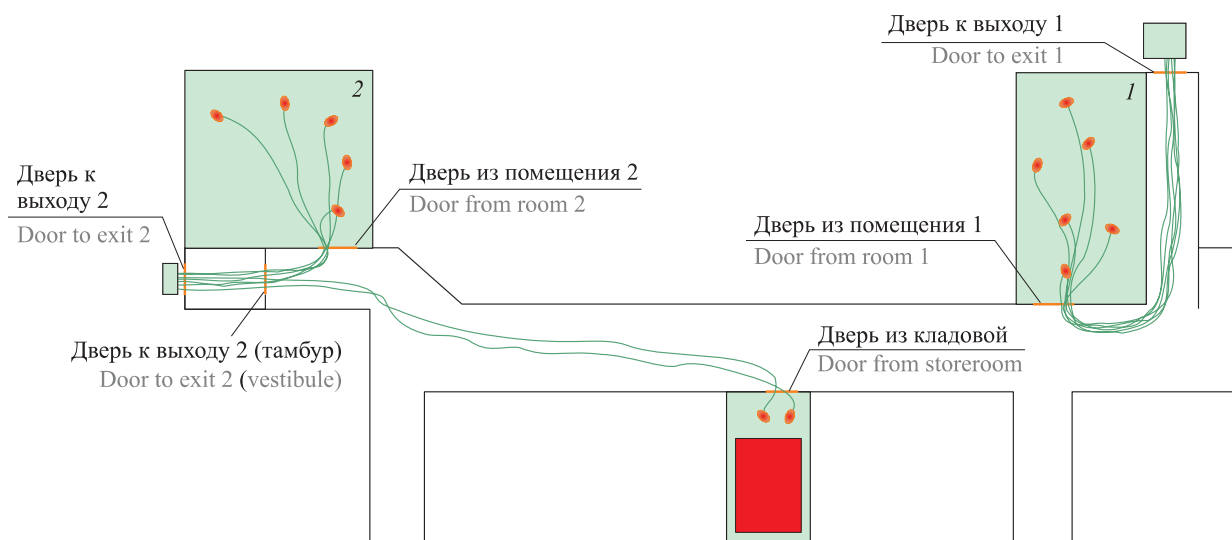
**Рис. 1.** Пожарная модель подвала со схемой нахождения людей и траекторий их движения при эвакуации**Fig. 1.** The fire model of the basement with the scheme of finding people and their trajectories during evacuation

Таблица 2. Статистика прохождения регистраторов в подвале / **Table 2.** Statistics of the passage of recorders in basement

Расположение Location	Наименование Name	Время прохождения регистратора, с Time of passage of recorder, sec		Количество людей, прошед- ших регистратор, чел. Number of people, pers.
		первого first	последнего last	
Помещение 1 / Room 1	Дверь из помещения 1 / Door from room 1	180,6	183,8	6
Помещение 2 / Room 2	Дверь из помещения 2 / Door from room 2	180,8	183,2	5
Помещение 3 / Room 3	Дверь из кладовой / Door from the pantry	5,6	5,8	2
Вне помещений / Out- doors	Дверь, ведущая к выходу 2 / Door leading to exit 2	17,4	186,4	7
	Дверь, ведущая к выходу 2 (тамбур) / Door leading to exit 2 (vestibule)	15,8	184,8	7
	Дверь, ведущая к выходу 1 / Door leading to exit 1	187,0	190,8	6

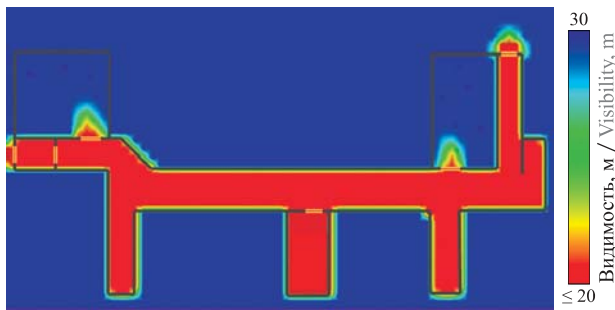


Рис. 2. Пожарная модель подвала: момент блокирования путей эвакуации по потере видимости через 69,8 с от начала возгорания без учета противопожарных дверей с доводчиком
Fig. 2. Basement fire model: the moment of blocking escape routes due to loss of visibility through 69.8 sec from the onset of ignition, without taking into account fire doors with a door closer

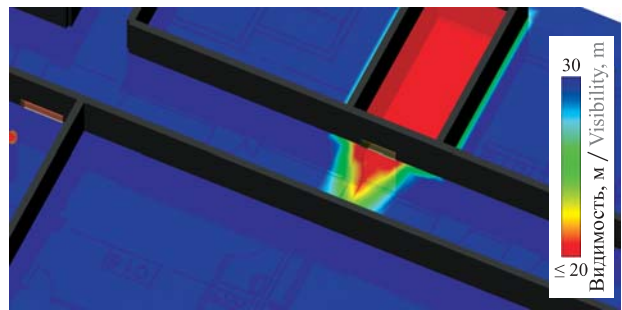


Рис. 4. Пожарная модель подвала: момент закрытия противопожарной двери посредством доводчика кладовой через 31,2 с от начала возгорания
Fig. 4. Basement fire model: the moment of closing the fire door through the closet of the pantry through 31.2 sec from the onset of fire

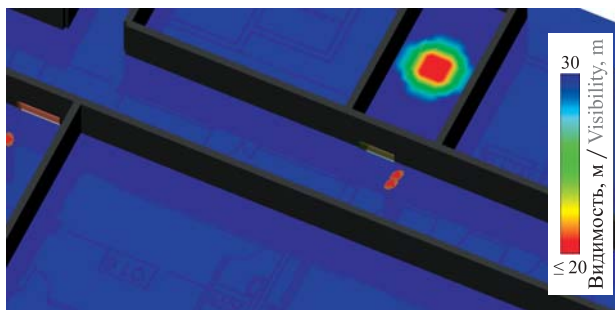


Рис. 3. Пожарная модель подвала: момент эвакуации из помещения кладовой через 6 с от начала возгорания с учетом противопожарных дверей с доводчиком
Fig. 3. Basement fire model: the moment of evacuation from the storeroom after 6 sec from the beginning of the fire, taking into account fire doors with a door closer

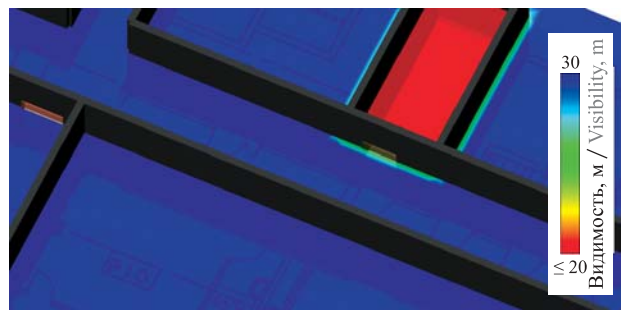


Рис. 5. Пожарная модель подвала: момент закрытия противопожарной двери посредством доводчика кладовой (время моделирования 240 с)
Fig. 5. The fire model of the basement: the moment of closing the fire door through the closet of the pantry (simulation time 240 sec)

Важным обстоятельством является тот факт, что после закрытия противопожарной двери посредством доводчика распространения опасных факторов пожара в коридор этажа и далее по эвакуационным путям не происходит, а значит, люди на путях эвакуации не будут подвержены воздействию ОФП (рис. 5).

Анализ проведенных расчетов показал, что использование в качестве дополнительного мероприятия по ограничению распространения пожара противопожарных дверей с доводчиком является важным элементом в обеспечении безопасной эвакуации людей до наступления критических для организма человека значений опасных факторов пожара.

Выводы

1. Результаты моделирования позволили оценить возможность использования противопожарных дверей при расчетах пожарного риска и отнести их к средствам, обеспечивающим ограничение распространения пожара в соответствии с п. 21 Методики [3].

2. Наличие устройств самозакрывания на противопожарных дверях является эффективным мероприятием противопожарной защиты зданий и сооружений различного функционального назначения, которое значительно ограничивает распространение опасных факторов пожара по путям эвакуации и обеспечивает безопасную эвакуацию людей при пожаре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 21.12.1994 № 69-ФЗ (в ред. от 28.05.2017). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения: 15.03.2018).
2. 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: 15.01.2018).
3. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (ред. от 02.12.2015). URL: <http://base.garant.ru/12169057/> (дата обращения: 10.03.2019).
4. О внесении изменений в приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 : приказ МЧС России от 02.12.2015 № 632. URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/71296390/paragraph/1:0> (дата обращения: 10.03.2019).
5. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Парфененко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосохов И. Р. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учеб. пособие. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. — 262 с.
6. Холщевников В. В., Самошин Д. А. Эвакуация и поведение людей при пожарах. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. — 212 с.
7. Айбуев З. С.-А., Исаевич И. И., Медяник М. В. Свободное движение людей в потоке и проблемы индивидуально-поточного моделирования // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 6. — С. 66–73.
8. Карпов В. Л., Медяник М. В. О необходимости реализации процесса превентивного спасения людей при пожаре в уникальных высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 25–30. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.25-30.
9. Kuligowski E. D., Peacock R. D. A review of building evacuation models / National Institute of Standards and Technology // Technical Note 1471. — Washington : U. S. Department of Commerce, 2005. — 156 p. URL: https://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=902501 (дата обращения: 20.03.2019).
10. Guan Heng Yeoh, Kwok Kit Yuen (eds.). Computational fluid dynamics in fire engineering: theory, modelling and practice. — Oxford : Butterworth-Heinemann, 2009. — 544 p. DOI: 10.1016/B978-0-7506-8589-4.X0001-4.
11. Hermes. Investigation of an evacuation assistant for use in emergencies during large-scale public events / Institute for Advanced Simulation (IAS), 2011. URL: https://www.fz-juelich.de/ias/jsc/EN/Research/ModellingSimulation/CivilSecurityTraffic/Projects/Hermes/_node.html (дата обращения: 25.03.2019).
12. Schadschneider A., Klingsch W., Klüpfel H., Kretz T., Rogsch C., Seyfried A. Evacuation dynamics: empirical results, modeling and applications // Encyclopedia of Complexity and System Science / Meyers R. (ed.). — New York : Springer, 2009. — P. 3142–3176. DOI: 10.1007/978-0-387-30440-3_187.
13. Frantzich H., Nilsson D. Evacuation experiments in a smoke filled tunnel // Third International Symposium on Human Behaviour in Fire. — Belfast, United Kingdom, 1–3 September, 2004. — P. 229–238.
14. Grandison A. J., Galea E. R., Patel M. K. Fire modelling standards/benchmark Report on Phase 1 Simulations. URL: <https://www.yumpu.com/en/document/view/39470611/fire-modelling-standards-benchmark-report-on-phase-1-> (дата обращения: 25.03.2019).
15. Kang K. A smoke model and its application for smoke management in an underground mass transit station // Fire Safety Journal. — 2007. — Vol. 42, Issue 3. — P. 218–231. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.10.003.
16. Hanea D. M. Human risk of fire: Building a decision support tool using Bayesian networks. — Netherlands : Wöhrmann Print Service, 2009. — 227 p. URL: file:///F:/Fire%20Journal/2019/04%202019/Work%2004'2019/Hanea_PhDThesis.pdf (дата обращения: 25.03.2019).

17. Kholshchevnikov V., Korolchenko D., Zosimova O. Efficiency evaluation criteria of communication paths structure in a complex of buildings of maternity and child-care institutions // MATEC Web of Conferences. — 2017. — Vol. 106, Article No. 01037. — 11 p. DOI 10.1051/mateconf/201710601037.
18. Medyanik M., Zosimova O. Key problems of fire safety enforcement in traffic and communication centers (TCC) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2017. — Vol. 90, Article No. 012151. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012151.
19. Рыжов А. М., Хасанов И. Р., Карпов А. В., Волков А. В., Лицкевич В. В., Дектерев А. А. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях : метод. реком. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2003. — 46 с.
20. Серебренников Д. С., Литвинцев К. Ю. Обзор моделей распространения дыма и определения дальности видимости // Технологии техносферной безопасности. — 2011. — № 1(35). — 6 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-1/06-01-11.ttb.pdf> (дата обращения: 25.03.2019).
21. Пособие по применению “Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности”. — 2-е изд., испр. и доп. / А. А. Абашкин, А. В. Карпов, Д. В. Ушаков, М. В. Фомин, А. Н. Гилетич, П. М. Комков, Д. А. Самошин. — М. : ВНИИПО, 2014. — 226 с.

REFERENCES

1. *On fire safety*. Federal Law of the Russian Federation on 21 December 1994 No. 69-FZ (ed. on 28 May 2017) (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (Accessed 15 March 2019).
2. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law of the Russian Federation on 22 July 2008 No. 123-FZ (ed. on 29 July 2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 15 January 2019).
3. *Methodology for fire risk determining in buildings and structures of different fire danger*. Order of Emercom of Russian Federation on 30 June 2009 No. 382 (ed. on 2 December 2015) (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/12169057/> (Accessed 10 December 2018).
4. *On amendments to the Order of Emercom of Russia on 30 June 2009 No. 382*. Order of Emercom of Russia on 2 December 2015 No. 632 (in Russian). Available at: <http://ivo.garant.ru/#/document/71296390/paragraph/1:0> (Accessed 10 March 2019).
5. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin, A. P. Parfenenko, I. S. Kudrin, R. N. Istratov, I. R. Belosokhov. *Evakuatsiya i povedeniye lyudey pri pozharakh* [Evacuation and behavior of people during fires]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015. 262 p. (in Russian).
6. V. V. Kholshchevnikov, D. A. Samoshin. *Evakuatsiya i povedeniye lyudey pri pozharakh* [Evacuation and behavior of people during fires]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2009. 212 p. (in Russian).
7. Z. S.-A. Aybuev, I. I. Isaevich, M. V. Medyanik. Free movement of people in a stream and problems of individual and line modeling. *Požarovzryvobezopasnost' / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 6, pp. 66–73 (in Russian).
8. V. L. Karpov, M. V. Medyanik. About the necessity of realization of process of preventive rescue of people during the fire in a unique high-rise buildings. *Požarovzryvobezopasnost' / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 25–30 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.25-30.
9. E. D. Kuligowski, R. D. Peacock. *A review of building evacuation models*. National Institute of Standards and Technology. Technical Note 1471. Washington, U. S. Department of Commerce, 2005. 156 p. Available at: https://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=902501 (Accessed 20 March 2019).
10. Guan Heng Yeoh, Kwok Kit Yuen (eds.). *Computational fluid dynamics in fire engineering: theory, modelling and practice*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2009, 544 p. DOI: 10.1016/B978-0-7506-8589-4.X0001-4.
11. Hermes — Investigation of an evacuation assistant for use in emergencies during large-scale public events. Institute for Advanced Simulation (IAS), 2011. Available at: https://www.fz-juelich.de/ias/jsc/EN/Research/ModellingSimulation/CivilSecurityTraffic/Projects/Hermes/_node.html (Accessed 25 March 2019).
12. A. Schadschneider, W. Klingsch, H. Klüpfel, T. Kretz, C. Rogsch, A. Seyfried. Evacuation dynamics: empirical results, modeling and applications. In: R. Meyers (ed.). *Encyclopedia of Complexity and System Science*. New York, Springer, 2009, pp. 3142–3176. DOI: 10.1007/978-0-387-30440-3_187.

13. H. Frantzich, D. Nilsson. Evacuation experiments in a smoke filled tunnel. In: *Proceedings of Third International Symposium on Human Behaviour in Fire*. Belfast, United Kingdom, 1–3 September, 2004, pp. 229–238.
14. A. J. Grandison, E. R. Galea, M. K. Patel. Fire modelling standards/benchmark Report on Phase 1 Simulations. Available at: <https://www.yumpu.com/en/document/view/39470611/fire-modelling-standards-benchmark-report-on-phase-1-> (Accessed 25 March 2019).
15. K. Kang. A smoke model and its application for smoke management in an underground mass transit station. *Fire Safety Journal*, 2007, vol. 42, issue 3, pp. 218–231. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.10.003.
16. D. M. Hanea. *Human risk of fire: Building a decision support tool using Bayesian networks*. Netherlands, Wöhrmann Print Service, 2009. 227 p. Available at: file:///F:/Fire%20Journal/2019/04%202019/Work%2004'2019/Hanea_PhDThesis.pdf (Accessed 25 March 2019).
17. V. Kholshchevnikov, D. Korolchenko, O. Zosimova. Efficiency evaluation criteria of communication paths structure in a complex of buildings of maternity and child-care institutions. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 106, article no. 01037. 11 p. DOI: 10.1051/mateconf/201710601037.
18. M. Medyanik, O. Zosimova. Key problems of fire safety enforcement in traffic and communication centers (TCC). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, vol. 90, article no. 012151. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012151.
19. A. M. Ryzhov, I. R. Khasanov, A. V. Karpov, A. V. Volkov, V. V. Litskevich, A. A. Dekterev. *Primeneniye polevogo metoda matematicheskogo modelirovaniya pozharov v pomeshcheniyakh* [Application of the field method of mathematical modeling of fires in rooms]. Moscow, VNIPO Publ., 2003. 46 p. (in Russian).
20. D. S. Serebrennikov, K. Yu. Litvintsev. Overview of smoke propagation models and modeling smoke visibility. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2011, no. 1(35), 6 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-1/06-01-11.ttb.pdf> (Accessed 25 March 2019).
21. A. A. Abashkin, A. V. Karpov, D. V. Ushakov, M. V. Fomin, A. N. Giletich, P. M. Komkov, D. A. Samoshin. *Posobiye po primeneniyu Metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroyeniyaх razlichnykh klassov funktsionalnoy pozharnoy opasnosti* [Handbook on the application of “Methods for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard”]. 2nd ed. Moscow, VNIPO Publ., 2014. 226 p. (in Russian).

Поступила 25.04.2019; принята к публикации 20.05.2019
Received 25 April; accepted 20 May 2019

Информация об авторах

СИВЕНКОВ Андрей Борисович, д-р техн. наук, профессор, Академик НАНПБ, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Учебно-научный центр проблем пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-2783-6089; e-mail: sivenkov01@mail.ru

ЖУРАВЛЕВ Сергей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, чл.-корр. НАНПБ, технический директор ООО “НИЭЦ ПБ”, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0003-4390-3149; e-mail: zhur01@mail.ru

ЖУРАВЛЕВ Юрий Юрьевич, начальник нормативно-технического отдела ООО “НИЭЦ ПБ”, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-8017-9642; e-mail: zhur001@mail.ru

МЕДЯНИК Михаил Валерьевич, старший преподаватель кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0001-9994-7074; e-mail: mihalmed@yandex.ru

Information about the authors

Andrew B. SIVENKOV, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Academician of the National Academy of Fire Safety Sciences, Professor of Department of Fire Safety in Construction, Training and Research Center for Fire Safety Problems in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-2783-6089; e-mail: sivenkov01@mail.ru

Sergey Yu. ZHURAVLEV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Member of the National Academy of Fire Safety Sciences, Technical Director of NIEC PB LLC, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-4390-3149; e-mail: zhur01@mail.ru

Yuri Yu. ZHURAVLEV, Head of the Regulatory and Technical Department, NIEC PB LLC, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-8017-9642; e-mail: zhur001@mail.ru

Mikhail V. MEDYANIK, Senior Lecturer, Department of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9994-7074; e-mail: mihalmed@yandex.ru