

1-2017

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

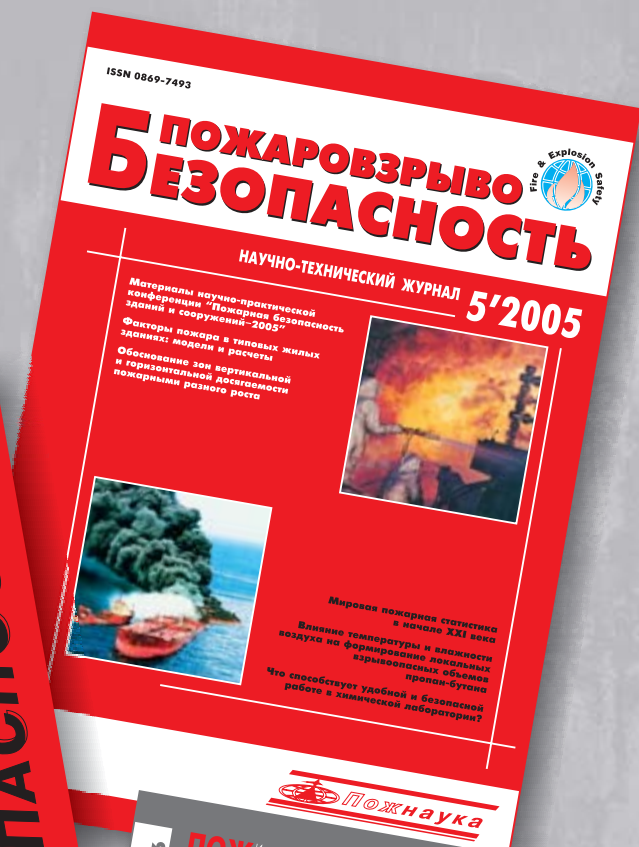
БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

Нам
25 лет



Для тех, кто сделал
безопасность
своей профессией

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

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



Краснодар

28 февраля –
3 марта 2017

ул. Конгрессная, 1
ВКК «Экспоград Юг»



Системы
и технические
средства
видеонаблюдения



Системы
и средства
ограничения
доступа



Системы и средства
обеспечения
пожарной
безопасности



Технические
средства
обеспечения
безопасности

РЕКЛАМА



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

Генеральный
информационный партнер

RUBEZH

ОДНОВРЕМЕННО С ВЫСТАВКОЙ



YugBuild
WorldBuild Krasnodar

12+



Журналу ПОЖАРОВЗРЫВОВО- БЕЗОПАСНОСТЬ 25 лет



УВАЖАЕМЫЕ КОЛЕГИ!

В этом году журналу «Пожаровзрывобезопасность» исполняется 25 лет!

За время своего существования журнал рекомендовал себя как одно из авторитетнейших профессиональных изданий, на страницах которого находят глубокое и всестороннее освещение актуальные вопросы комплексной безопасности. Свидетельством его высокого научно-технического уровня является то, что журнал входит в перечень ведущих периодических изданий, публикация в которых учитывается при защите докторских и кандидатских диссертаций Высшей аттестационной комиссией (ВАК) Министерства образования и науки РФ, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, а также в базу данных Russian Science Citation Index на платформе Web of Science. Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory», а переводные версии статей журнала входят в Международный реферативный журнал «Chemical Abstracts».

Наш журнал может служить примером вдумчивого, компетентного освещения сложных проблем пожарной безопасности. Вниманию читателей предлагаются новые разработки, технологии, уни-

кальные научные исследования, аналитические обзоры, мнения ведущих профессионалов по важнейшим проблемам пожарной безопасности, дискуссии на самые злободневные темы. Достоверность излагаемых на страницах журнала фактов, методов и подходов, их содержательность и практическая направленность гарантируются составом редколлегии, представленной видными учеными в области пожарной безопасности и специалистами-практиками. Особо следует отметить вклад в создание и развитие журнала его главного редактора А. Я. Корольченко, под руководством которого в 1992 г. вышел первый номер журнала и который возглавляет журнал и по сей день.

Редакция журнала всегда стремится соответствовать актуальным требованиям издательского дела, готова проявлять смелость при принятии решений об освещении тех или иных нововведений, гибкость при работе с авторами материалов.

В заключение хотелось бы заверить наших читателей, что, несмотря на все трудности, наше издание продолжает жить и следовать своему главному принципу — работать для тех, кто сделал безопасность своей профессией!

Редакция журнала
«Пожаровзрывобезопасность»

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ХОЛЩЕВНИКОВ В. В., ПРИСАДКОВ В. И., КОСТЕРИН И. В.
Совершенствование методологии определения
расчетных величин пожарного риска в зданиях
и сооружениях на основе стохастического описания
определяющих их процессов и деревьев событий

5

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

KHOLSHCHEVNIKOV V. V., PRISADKOV V. I., KOSTERIN I. V.
Improvement methodology for determining the calculated
value of the fire risk in buildings and structures based
on stochastic description of determining their processes
and trees events

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

ПУЗАЧ С. В., ЛЕБЕДЧЕНКО О. С.
Расположение взрыво- и пожароопасных участков
водородно-воздушной смеси по высоте конвективной
колонки, образующейся над источником протекания
водорода в помещении

18

FIRE MODELING

PUZACH S. V., LEBEDCHENKO O. S.
Location of explosion and fire dangerous areas
of the hydrogen-air mixture along height
of convective column formed over the source
of hydrogen leakage in the room

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

МОТОРЫГИН Ю. Д., ЛИТОВЧЕНКО И. О.,
МАКСИМОВ А. В., ЧЕРНЫХ А. К.
Оценка эффективности принятия решений по повышению
пожарной безопасности на открытых автостоянках

25

MOTORYGIN Yu. D., LITOVCHENKO I. O.,
MAKSIMOV A. V., CHERNYKH A. K.
Decision making efficiency evaluation on increase
in fire safety on open car parks

ГУДИН С. В., ХАБИБУЛИН Р. Ш.,
РУБЦОВ Д. Н., РУБЦОВ В. В.
Оценка расчетных величин пожарного риска
на территории газораспределительной станции

32

GUDIN S. V., KHABIBULIN R. Sh.,
RUBTSOV D. N., RUBTSOV V. V.
Evaluation of fire risk values in the territory
of a gas distribution station

ШЕВЦОВ С. А., КАРГАШИЛОВ Д. В.,
ПОТЕХА С. В., БЫКОВ И. А.
Оценка пожарной опасности "больших дыханий"
наземных резервуаров для хранения нефтепродуктов
численными методами

43

SHEVTSOV S. A., KARGASHILOV D. V.,
POTEKHA S. V., BYKOV I. A.
Assessment of the fire hazard of "big respirations"
of land retention tanks of oil products
by numerical methods

СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

ШАРАПОВ С. В., КРУТОЛАПОВ А. С., КОПЕЙКИН Н. Н.
Анализ информации о пожарах на судах
и о практике их тушения в портах

52

SHARAPOV S. V., KRUTOLAPOV A. S., KOPEYKIN N. N.
Information analysis of the fires on vessels
and of practice of their suppression in ports

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

СОКОЛОВ С. В., КОСТЮЧЕНКО Д. В.
Управление рисками гибели людей при пожарах
в жилых домах городских поселений

61

SOKOLOV S. V., KOSTYUCHENKO D. V.
Risk management of fire deaths in homes
of urban settlements

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

КАЛАЧ А. В., ГУСАКОВ А. Н., ШАРАПОВ С. В.
К вопросу о совершенствовании технологии
и техники пенного пожаротушения

75

KALACH A. V., GUSAKOV A. N., SHARAPOV S. V.
Improvement of foamy fire extinguishing
technology

ВОПРОС – ОТВЕТ

81

QUESTION – ANSWER

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 № ФС77-43615 от 18 января 2011 г.

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в базу данных Russian Science Citation Index на платформе Web of Science. Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory". Переводные версии статей журнала входят в Международный реферативный журнал "Chemical Abstracts".

Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" 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 мнением авторов опубликованных материалов.



Пожарная безопасность на открытых автостоянках

Стр. 25



Пожарная опасность "больших дыханий" резервуаров

Стр. 43



Анализ информации о пожарах на судах

Стр. 52



Риски гибели людей при пожарах в жилых домах

Стр. 61

Стр. 75



Совершенствование техники пенного пожаротушения

Председатель Редакционного совета:

Корольченко А. Я., д. т. н., профессор,
академик МАНЭБ (Россия)

**Зам. председателя
Редакционного совета:**

Мольков В. В., д. т. н., профессор (Великобритания)

Редакционный совет:

Барбин Н. М., д. т. н., профессор (Россия)

Брушлинский Н. Н., д. т. н., профессор, академик РАЕН,
заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Корольченко Д. А., к. т. н., академик МАНЭБ (Россия)

Пузач С. В., д. т. н., профессор, член-корреспондент
НАНПБ (Россия)

Ройтман В. М., д. т. н., профессор, академик НАНПБ
и ВАНКБ, член-корреспондент Академии архитектурного
наследия (Россия)

Серков Б. Б., д. т. н., профессор, действительный член
НАНПБ (Россия)

Тамразян А. Г., д. т. н., профессор,
действительный член ВАНКБ (Россия)

Топольский Н. Г., д. т. н., профессор, академик РАЕН
и НАНПБ, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

Холщевников В. В., д. т. н., профессор, академик
и почетный член РАЕН, заслуженный работник высшей
школы РФ (Россия)

Шебеко Ю. Н., д. т. н., профессор, действительный член
НАНПБ (Россия)

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

**Учредитель —
ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"**

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

Адрес редакции:

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

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 43.

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

Подписано в печать 16.01.2017. Выход в свет 25.01.2017.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "УНИВЕРСАЛСЕРВИС"
(115193, г. Москва, ул. Петра Романова, д. 7, стр. 1).

**Founder:**

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:

Editor-in-Chief **Korolchenko A. Ya.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

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

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia.

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

E-mail: info@fire-smi,
mail@firepress

Website: www.fire-smi.ru,
www.firepress.ru

"Pozharovzryvobezopasnost" ("Fire and Explosion Safety") is included in List of periodical scientific and technical publication of the Russian Federation, what are recommended for publishing the main results of competitors for doctoral degree by VAK, in Abstracting Journal VINITI Database RAS and in Russian Science Citation Index. Information about the journal is annually published in "Ulrich's Periodicals Directory". Translate version of articles "Fire and Explosion Safety" is included in Chemical Abstract Service (CAS). No part of this publication may be used or reproduced in any form or by any means without the prior permission of the Publishers. Reproducing any part of this material a reference to the journal is obligatory. Authors and advertisers account for contents of given papers and for publishing in the open press. Opinion of Editorial Staff not always coincides with Author's opinion.

Signed for printing 16.01.2017
Date of publication 25.01.2017
Format is 60x84 1/8
Printing is 2000 copies
Chalk-overlay mat paper
Offset printing

Chairman of Editorial Board:

Korolchenko A. Ya.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety (Russia)

Deputy Chairman of Editorial Board:

Molkov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

Editorial Board:

Barbin N. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Brushlinskiy N. N.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Korolchenko D. A.,

Candidate of Technical Sciences, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety (Russia)

Puzach S. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of National Academy of Fire Science (Russia)

Roytman V. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of National Academy of Fire Science, Academician of World Academy of Sciences of Complex Safety, Corresponding Member of Academy of Architectural Heritage (Russia)

Serkov B. B.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy of Fire Science (Russia)

Tamrazyan A. G.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of World Academy of Sciences for Complex Safety (Russia)

Topolskiy N. G.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences, Academician of National Academy of Fire Science, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

Kholshchevnikov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician and Honoured Member of Russian Academy of Natural Sciences, Honoured Higher Education Employee of the Russian Federation (Russia)

Shebeko Yu. N.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy of Fire Science (Russia)

Shields T. J.,

Professor (Great Britain)

В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: reglament2004@mail.ru)

В. И. ПРИСАДКОВ, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: z080637@yandex.ru)

И. В. КОСТЕРИН, канд. техн. наук, начальник отделения экспертно-консалтингового отдела, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: kosteriniv@gmail.com)

УДК 64.841

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ИХ ПРОЦЕССОВ И ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ

Изложены результаты анализа “Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности”. Показано, что ее недостатки обусловлены детерминистическим описанием процессов эвакуации людей, распространения опасных факторов пожара и функционирования автоматических систем противопожарной защиты. Предложены новые подходы к обеспечению на этапе проектирования требуемого значения расчетной величины пожарного риска на основе имитационно-стохастического моделирования этих процессов и модель дерева событий для вероятностного описания сценариев пожара, которая позволяет отобразить стохастичность процессов, определяющих безопасность людей на начальной стадии развития пожара. Для оценки вероятности динамики ОФП и эвакуации людей при пожаре из объекта предложено использовать метод статистических испытаний и имитационного моделирования индивидуального движения людей с учетом их физических возможностей и психофизиологического состояния. Показано, что использование вероятностных представлений позволит повысить адекватность моделей для оценки индивидуального пожарного риска.

Ключевые слова: индивидуальный пожарный риск; вероятностно-стохастический анализ; дерево событий; сценарии пожаров; вероятность эвакуации; методика; расчет; пожарный риск.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17

Казалось бы, минули те времена, когда при пожаре человек мог рассчитывать на спасение только с помощью путей эвакуации. Сегодня это еще и автоматические и автономные установки пожаротушения (АУП), которые должны “ликвидировать пожар в помещении до возникновения критических значений опасных факторов пожара”, и система противодымной защиты (ПДЗ), и системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) [1]. Их совместное с системой предотвращения пожаров функционирование должно обеспечить выполнение следующего требования: “Индивидуальный пожарный риск в зданиях и сооружениях не должен превышать значение одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания и сооружения точке” [1, ст. 79], т. е. индивидуаль-

ный пожарный риск Q_v должен отвечать его нормативному значению $Q_v^H = 1 \cdot 10^{-6}$, если

$$Q_v \leq Q_v^H. \quad (1)$$

Выполнение условия (1) является показателем реализации требований Технических регламентов [1, 2], первостепенной целью которых является “защита жизни или здоровья граждан” [3, ст. 6]. Этот показатель впервые был сформулирован в ГОСТ 12.1.004–91*.

Согласно ГОСТ 12.1.004–91* “вероятность (Q_v)” вычисляют для людей в каждом здании (помещении) по формуле

$$Q_v = Q_n(1 - P_3)(1 - P_{п.з}), \quad (2)$$

где Q_n — вероятность пожара в здании в год;

$P_э$ — вероятность эвакуации людей;

$P_{п.з}$ — вероятность эффективной работы технических решений противопожарной защиты”.

Этот методический принцип и был положен в основу нормативного документа “Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности” (далее — Методика) [4] и ее последующей редакции [5], который “определяет порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска” [1, ст. 2, п. 1].

В этих редакциях Методики [4, 5] приводятся формулы для вычисления $Q_в$, в которых входящие в них величины имеют различные обозначения и по-разному интерпретируются, но имеют один и тот же физический смысл, отражающий концепцию ГОСТ 12.1.004–91*:

- Методика [4]:

$$Q_в = Q_п (1 - R_{ап}) P_{пр} (1 - P_{эв}) (1 - P_{п.з}); \quad (3)$$

- Методика в редакции 2015 г. [5]:

$$Q_в = Q_п (1 - K_{ап}) P_{пр} (1 - P_{эв}) (1 - K_{п.з}), \quad (4)$$

и соответственно:

$$P_{п.з} = 1 - (1 - R_{обн} R_{соуэ}) (1 - R_{обн} R_{пдз}); \quad (5)$$

$$K_{п.з} = 1 - (1 - K_{обн} K_{соуэ}) (1 - K_{обн} K_{пдз}). \quad (6)$$

Несмотря на отличающуюся словесную интерпретацию величин $R_{ап}$ и $K_{ап}$, $P_{п.з}$ и $K_{п.з}$, $R_{обн}$ и $K_{обн}$, $R_{соуэ}$ и $K_{соуэ}$, $R_{пдз}$ и $K_{пдз}$, их сущность не изменяется. Это вероятность безотказного функционирования соответствующих систем и вероятность присутствия человека в здании в течение суточного цикла его эксплуатации $P_{пр}$. Вероятностная (случайная) величина характеризуется, как известно, математическим ожиданием (средним) и мерой рассеивания (дисперсией, или среднеквадратическим отклонением). В Методике же [4, 5] они заменены детерминированными (постоянными) величинами, имеющими значения 0,9 и 0,8, поэтому они, по-видимому, и названы коэффициентами. Однако это в принципе некорректно, так как известно, что произведение случайных зависимых величин не равно произведению их математических ожиданий: поскольку если для одной из случайных величин берется среднее арифметическое, то для другой необходимо использовать гармоническое среднее. Например, привычное для детерминизма соотношение (расстояние) = (скорость) × (время) не “работает”. Нам, людям, которые “проходят” теорию вероятностей, на этот факт указал математик еще полвека назад [6]. Зачем же, как говорят, “наступать на грабли дважды”? Тем более это недопустимо, поскольку анализ Методики [7, 8] приводит к выводу, что требуемый уровень индивидуального пожарного риска не может быть

обеспечен при $P_{эв} \leq 0,999$, т. е. только за счет функционирования автоматических систем противопожарной защиты (рис. 1).

В связи с этим Методика необоснованно устанавливает соотношения, при которых принимается вероятность эвакуации людей $P_{эв} = 0,999$:

$$t_p + t_{н.э} \leq 0,8 t_{бл} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин}, \quad (7)$$

где t_p — расчетное время эвакуации людей, мин;

$t_{н.э}$ — интервал времени с момента возникновения пожара до начала эвакуации людей, мин;

$t_{бл}$ — время с момента начала пожара до образования на участке эвакуационного пути опасных факторов пожара (ОФП) с предельно допустимыми (т. е. неопасными) для людей значениями, мин;

$t_{ск}$ — время существования скоплений людей на участках эвакуационного пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$).

Однако и в этих соотношениях все использованные параметры являются случайными величинами и функциями, описывающими стохастические по своей природе процессы. В Методике же они описываются, как правило, детерминированными зависимостями. Поэтому даже тогда, когда делается попытка ввести в нее случайную величину, она воспринимается ее пользователями как детерминированная. В этом отношении показателен пример нормирования времени начала эвакуации $t_{н.э}$. Время начала эвакуации — случайная величина, поэтому и в ГОСТ 12.1.004–91*, и в Методике [4, 5] она определена как *интервал времени* от возникновения пожара до начала эвакуации людей, т. е. период времени, в течение которо-

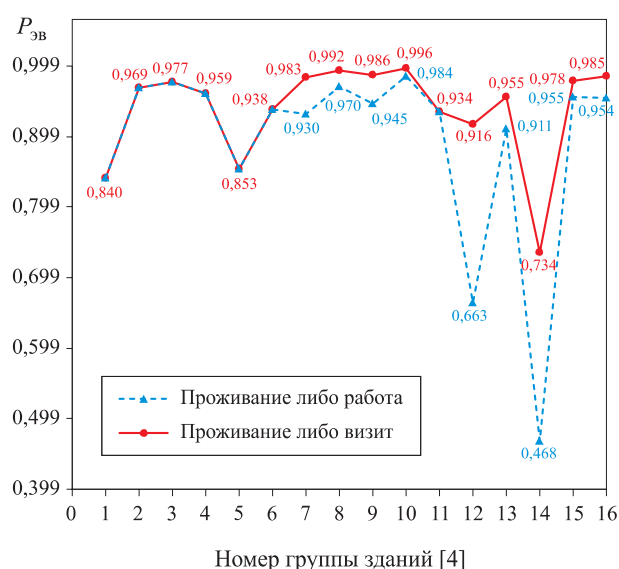


Рис. 1. Требуемое значение вероятности безопасной эвакуации людей $P_{эв}$ для достижения нормативного значения $Q_в''$ в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности (группа здания № 16 с $Q_п = 0,04$)

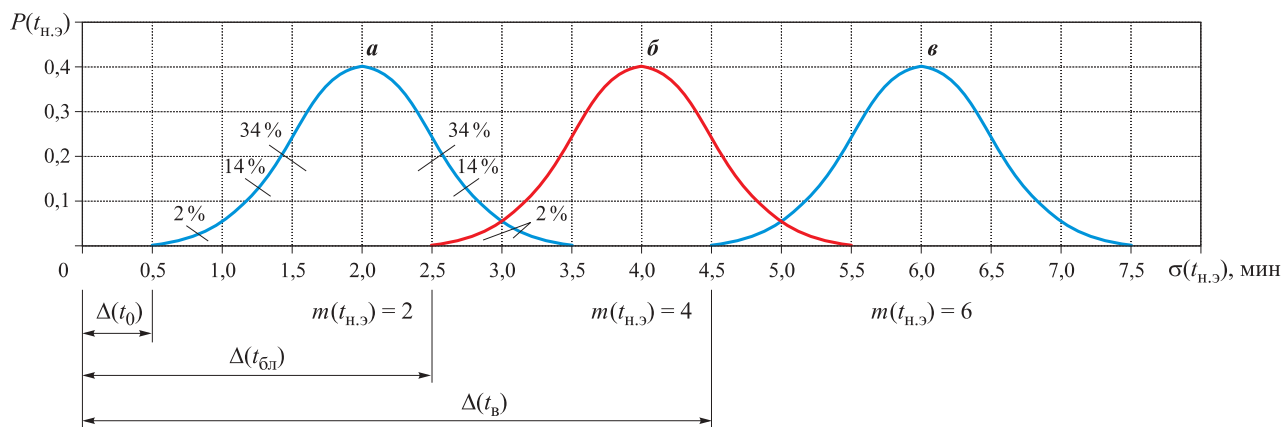


Рис. 2. Плотность распределения вероятности времени начала эвакуации $P(t_{н.э})$ при оборудовании здания СОУЭ типа: а — V и VI; б — III и II; в — I

го каждый человек по мере его готовности (каждый в свой момент времени) начинает двигаться к эвакуационному выходу из помещения. Так этот параметр и описывается, например, в МГСН 4.19–2005 [9] (рис. 2).

Стремление представить эти зависимости в более простом виде, заменив их на эквивалентное им равномерное распределение, привело, однако, к истолкованию приведенных в Методике значений $t_{н.э}$ как времени ожидания общего момента одновременного начала эвакуации всех людей [10].

Усугубление парадигмы детерминизма в редакции Методики [5] приводит к тому, что никакие усовершенствования функционирования автоматизированных систем противопожарной защиты не могут повлиять на расчетную величину пожарного риска $Q_в$: ни новации, вносимые в их функционирование, ни даже дублирование этих систем не могут повлиять на постоянные значения коэффициентов K .

Тогда значение $t_{эв}$ становится буквально панацеей обеспечения безопасности людей при пожаре и условий (1). Однако значение $P_{эв} = 0,999$ неправомерно назначать, его необходимо обеспечить. Нетрудно заметить, что при $P_э = 0,999$ вероятность “отказа” ($1 - P_{эв}$) в системе “эвакуация” должна составлять 0,001, что в 100–200 раз ниже этого показателя для любой автоматизированной системы пожаротушения и противопожарной защиты! Иначе говоря, надежность безопасности эвакуации каждого отдельного человека должна быть в 100 раз более высокой, чем надежность безотказной работы элемента существующих систем противопожарной защиты. При этом системы противопожарной защиты — “дело рук человеческих”, а человек — продукт “природы и общества”, неподвластных творчеству ни одного специалиста противопожарной защиты.

Нетрудно заметить, что при таком значении $P_{эв}$ в большинстве случаев “прикрываются” все недостатки систем противопожарной защиты и пожаротушения, поскольку при $P_{эв} = 0,999$ их может и не быть

вообще, если значение $P_{пр}$ чуть меньше единицы. А оно равно единице только для зданий с круглосуточным пребыванием в них людей [11]. При этом неправильно было бы считать, что вероятность индивидуального присутствия человека в здании эквивалентна времени эксплуатации здания в течение суток, т. е. времени нахождения в нем разных людей $t_{функц}$. Это все равно что считать время его присутствия в городском туалете равным 24 ч, поскольку туалет функционирует круглосуточно (к сожалению, такие казусы наблюдаются в практике экспертиз).

Методика определения расчетных величин пожарного риска, базирующаяся на парадигме детерминизма, строго говоря, расходится с реальными жизненными ситуациями (рис. 3).

Вероятностный характер зависимости между основными параметрами людских потоков фиксировался на всех гносеологических уровнях их исследований: и на эмпирическом уровне (рис. 4) [12], и на теоретическом [13], где она была описана в виде элементарной случайной функции. В Методике [4, 5]

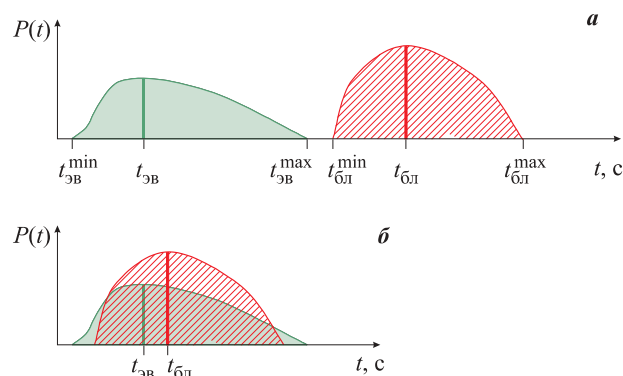


Рис. 3. Иллюстрация обеспечения условий своевременной эвакуации людей: а — при действительном развитии процессов эвакуации ($t_{эв} = t_{н.э} + t_p$) и опасных факторов пожара ($t_{бл}$), описываемых плотностями распределения вероятностей времени их достижения $P(t)$; б — при детерминированном описании этих процессов, игнорирующем действительный (вероятностный) характер этих процессов (соотношение только между средними значениями $t_{эв} \leq t_{бл}$)

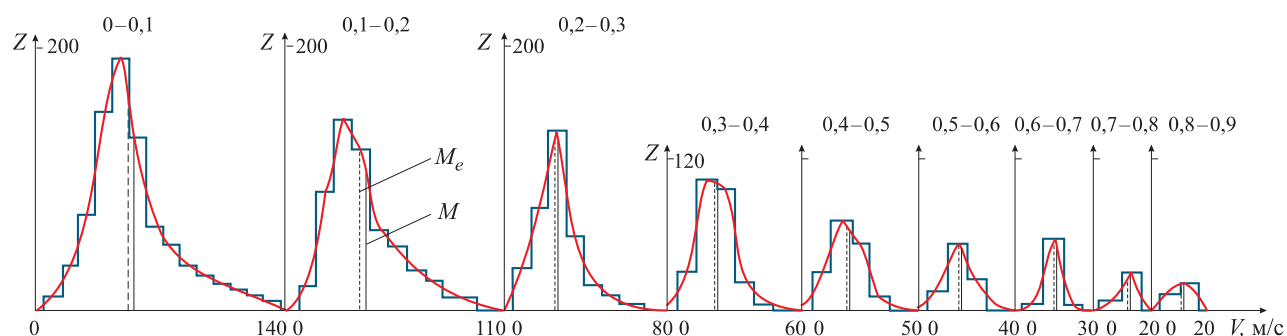


Рис. 4. Примеры гистограмм и полигонов распределения значений скоростей движения по горизонтальным путям, полученных визуальным методом [12] (M — математическое ожидание; M_e — медиана; Z — количество наблюдений)

и в ГОСТ 12.1.004–91* использована лишь одна из ее возможных реализаций. Инвариантность этой функции показана для всех серий натурных наблюдений, проведенных в нашей стране и за рубежом [14].

Введение коэффициента 0,8 в формулу (7) не может учесть стохастичность процесса распространения ОФП по системе участков эвакуационных путей и выходов. Этот факт был доказан неоднократно при многовариантном моделировании динамики распространения ОФП с использованием и зонной [7, 8, 15, 16], и полевой [7, 8, 17] моделей (рис. 5 и 6).

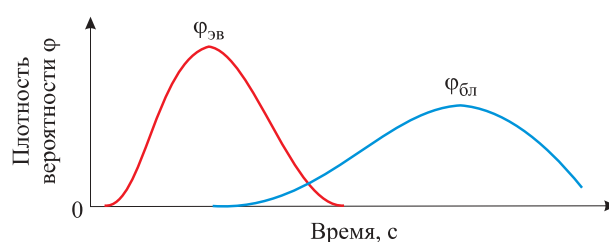


Рис. 5. Оценка вероятности эвакуации и распространения ОФП по плотностям их вероятности $\varphi_{эв}$ и $\varphi_{бл}$ для здания с многосветным пространством с помощью стохастического имитатора [16]

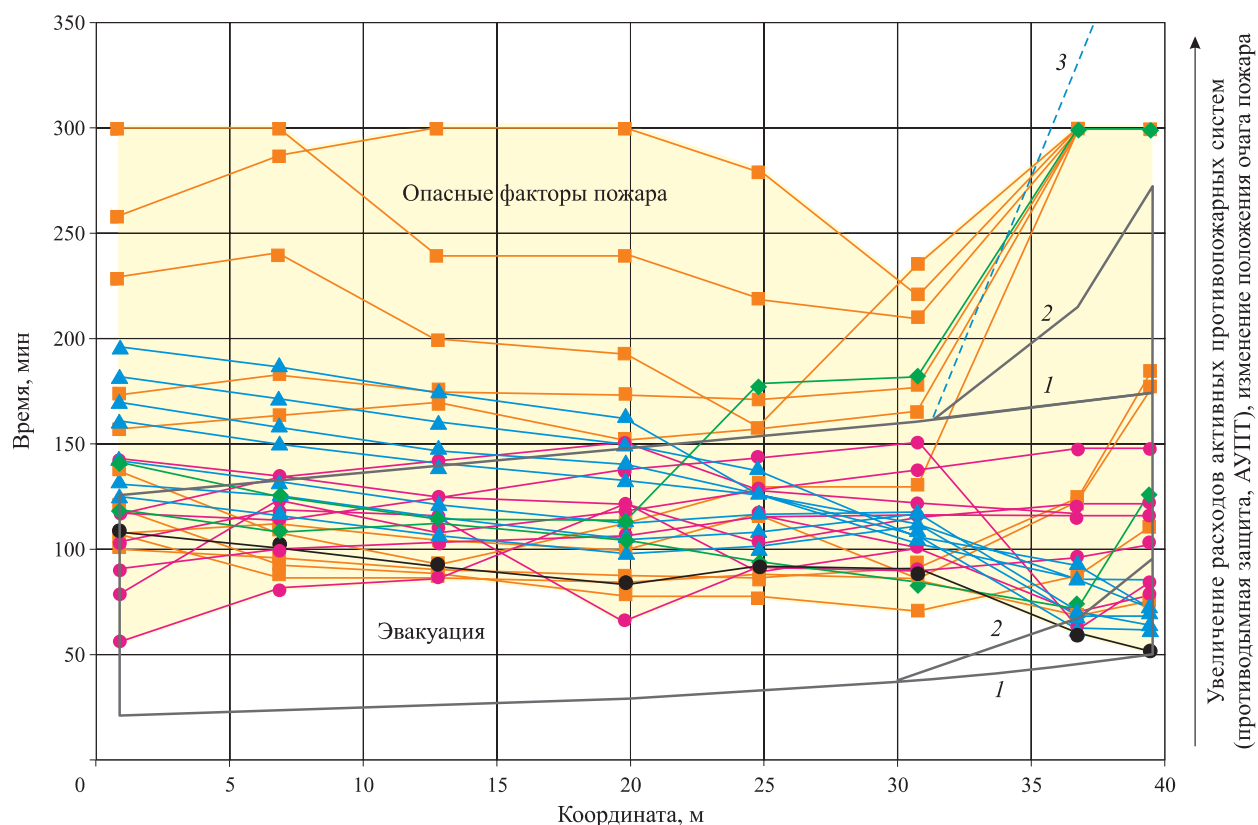


Рис. 6. Область возможных решений по выбору систем обеспечения пожарной безопасности на этаже пожара на основе моделирования ОФП [16]: ● — отсутствие систем противопожарной защиты; ● — изменение расположения помещения очага пожара и клапана дымоудаления; ■ — изменение расхода воздуха через клапан дымоудаления; ▲ — изменение расхода воды системы пожаротушения (дренчерная завеса); ◆ — изменение расхода воздуха через клапан дымоудаления и расхода дренчерной системы пожаротушения (дренчерная завеса). Результаты моделирования эвакуации: 1 — максимальные и минимальные значения времени движения людей на этаже при одностороннем расположении коридора; 2 — то же, при двустороннем расположении коридора; 3 — время движения людей в случае скопления в лестничной клетке

Полученные результаты, показавшие вариабельность значений необходимого и расчетного времени эвакуации при неизменности причинно-следственной обусловленности связи между параметрами моделируемых процессов, позволяют преодолеть консерватизм сторонников детерминизма. Они дают возможность получить аналитические выводы, определяющие вероятность совместного наступления событий [7, 8] — времени эвакуации людей $E(t)$ и времени блокирования путей эвакуации $B(t)$, исходя из первоначального допущения о распределении плотностей их вероятностей по нормальному закону. Тогда удастся получить аналитическую формулу для оценки вероятности безопасной эвакуации $p(S)$:

$$p(S) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\mu_2 - \mu_1}{\sqrt{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}} \right) \right], \quad (8)$$

где μ_1 , μ_2 , σ_1 , σ_2 — математические ожидания и стандартные отклонения распределения значений времени эвакуации и времени блокирования путей эвакуации.

Вводя различные значения этих параметров, можно оценить необходимость учета влияния стохастичности процессов движения людских потоков и распространения ОФП на безопасность людей при эвакуации на начальной стадии пожара (рис. 7).

Отсюда следует, что при $t_p + t_{н.э} \leq 0,8t_{бл}$ вероятность эвакуации $P_{эв} \neq 0,999$.

Таким образом, методика определения расчетных величин пожарного риска, которая должна реализовать принцип вероятности (1), является детерминированной по сути большинства используемых в ней способов представления физико-технических характеристик расчетных величин, методов и моделей. В ней не учитываются возможности снижения пожарного риска за счет вероятного использования индивидуальных средств противопожарной защиты населения [18] и тушения пожара в очаге внутренним противопожарным водопроводом [19], отсутствует учет влияния эффективности (а не только

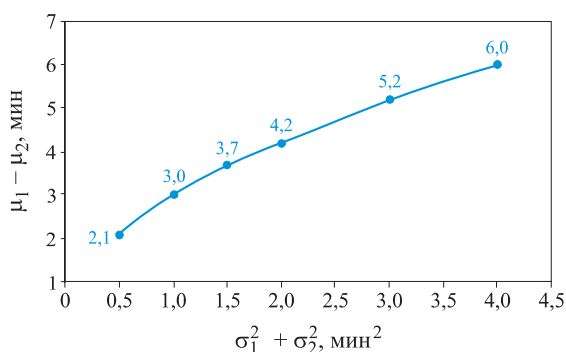


Рис. 7. Значения $\mu_1 - \mu_2$ и $\sigma_1^2 + \sigma_2^2$ для обеспечения вероятности эвакуации на уровне $P_{эв} = 0,999$

надежности) автоматических установок пожаротушения [20–22].

Методика [4] в существующем виде не учитывает неоднородности состава людских потоков в большинстве зданий общественного и промышленного назначения [23–25]. Такое состояние Методики не соответствует принципам классификации зданий по функциональной пожарной опасности, которые требуют представления в ней расчетных величин и зависимостей между параметрами движения людей “с учетом их возраста, физического состояния, возможности пребывания в состоянии сна, вида основного функционального контингента и его количества” [1].

Приведенные данные определяют многочисленность возможных вариантов, которые необходимо учитывать при анализе сценариев пожара:

- место нахождения и различное количество людей в течение суток в элементах объемно-планировочной структуры зданий и сооружений массового назначения;
- широко изменяющийся демографический состав образующихся групп людей;
- вариабельность пожарной нагрузки в помещениях;
- непостоянство параметров создаваемой искусственной среды в элементах объемно-планировочной структуры;
- нестабильность показателей надежности и эффективности функционирования автоматических систем противопожарной защиты, которыми они оборудуются;
- непредсказуемость мест возникновения очага пожара, что формирует стохастичность процессов эвакуации людей и динамики опасных факторов пожара.

Отсюда следует необходимость глубокого статистического анализа случайных величин $t_{н.э}$, t_p и $t_{бл}$. Такой анализ невозможно провести без расчета (моделирования) возможных многочисленных сценариев пожара. Поскольку требуется определить индивидуальный пожарный риск, актуализируется необходимость разработки современной модели индивидуального движения людей, учитывающей выявленные особенности поведения людей, определяемые их возрастными психофизиологическими и физическими возможностями, которые сплошь и рядом имеют лишь качественные характеристики поведения*.

Необходимость систематизации расчетов сценариев пожара с учетом моделирования реальной стохастичности динамики ОФП и стохастичности

* Поведение — это система взаимосвязанных реакций, осуществляемых живыми организмами для приспособления к среде, включая их двигательную активность.

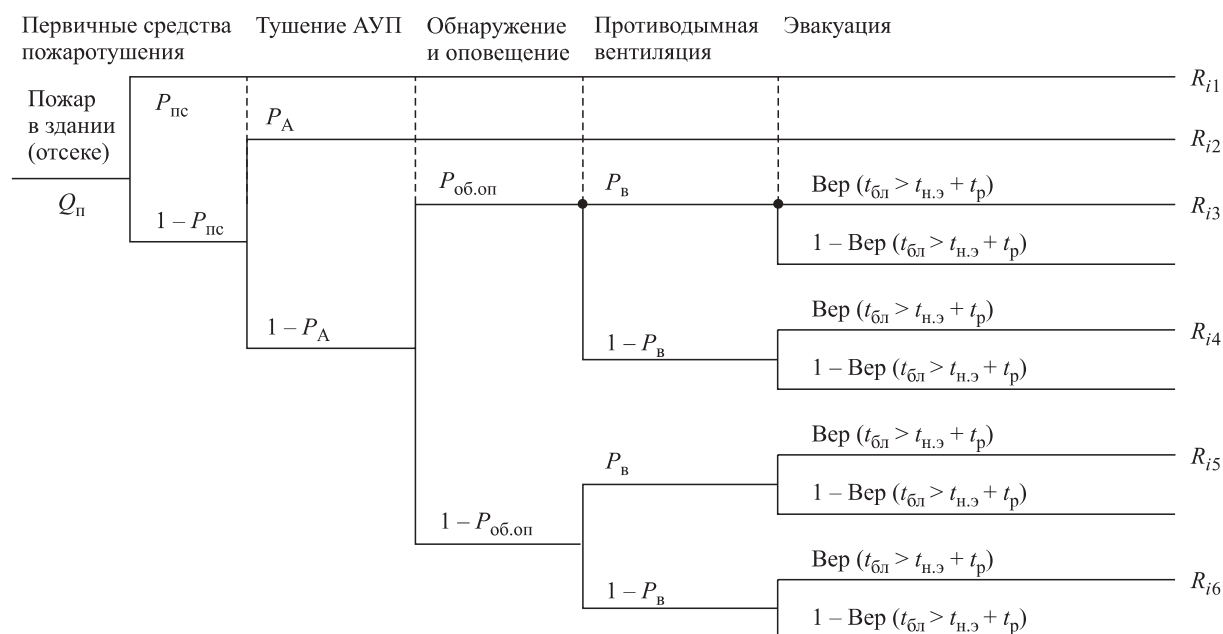


Рис. 8. Дерево событий при i -м сценарии пожара

проявления закономерностей поведения людей в зависимости от их физических возможностей и психофизиологического состояния определяет актуальность разработки новой методологии расчета индивидуального пожарного риска, способной учитывать стохастичность определяющих его процессов. Описанный опыт их моделирования позволяет считать, что расчет индивидуального пожарного риска целесообразно проводить в два этапа.

На первом этапе должны быть оперативно получены статистические данные по распределению вероятностей времени безопасной эвакуации и времени блокирования опасными факторами пожара эвакуационных путей и выходов. Графический пример представления результатов первого этапа представлен на рис. 5.

Эти результаты создают базу статистических данных для оценки вероятности безопасной эвакуации (формула (8)) (см. рис. 7). Их применение позволяет выявить пессимистические варианты развития чрезвычайной ситуации и установить значения параметров, обуславливающих их появление. В результате выявления причин формирования пессимистических вариантов разрабатываются способы и методы их устранения, включая и изменения размеров эвакуационных путей и выходов, ведущие прежде всего к ликвидации скоплений людей или уменьшению времени их существования $t_{ск}$.

На втором этапе осуществляется моделирование процессов индивидуального поведения людей в составе выявленных групп эвакуирующихся, что создает статистику по $P(t_{н.э} + t_p)$, и производится расчет распространения ОФП при возможных ва-

риантах необходимых технических решений автоматических систем противопожарной защиты.

Из двух этапов первый будет наиболее трудоемким, поэтому рассмотрим предлагаемый метод его осуществления. Для систематизации расчетов сценариев пожара предлагается использовать методологию дерева событий (рис. 8), широко применяемую в квалиметрии.

Расчетная величина $Q_в$ определяется как

$$Q_в = \max \{Q_{в,1}, Q_{в,2}, \dots, Q_{в,N}\}, \quad (9)$$

где N — количество рассмотренных сценариев пожара.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска $Q_{в,i}$ определяется по формуле

$$Q_{в,i} = Q_{п,i} \prod_{j=1}^6 (1 - R_{ij}), \quad (10)$$

где $Q_{п,i}$ — частота возникновения пожара в здании; R_{ij} — расчетная вероятность непопадания людей при пожаре под действие ОФП, значения которых превышают критические, при реализации одного из j -х подсценариев i -го сценария пожара.

Индекс j соответствует ветвям дерева событий i -го сценария пожара, для которых

$$t_{н.э} + t_p < t_{бл}. \quad (11)$$

Величина $1 - \prod_{j=1}^6 (1 - R_{ij})$ представляет собой,

по сути, оценку системы противопожарной защиты объекта при ее “испытании” по i -му сценарию пожара (при заданном месте возникновения и харак-

теристиках очага пожара). На рис. 8 основные события (подсценарии или варианты) обозначены R_{ij} ($j = 1, \dots, 6$).

Сценарий пожара учитывает следующие противопожарные системы:

- первичные средства пожаротушения с надежностью тушения пожара в очаге $P_{\text{пс}}$;
- наличие автоматической установки пожаротушения (АУП) с надежностью выполнения задачи P_A ;
- системы обнаружения и оповещения людей о пожаре с надежностью выполнения задачи $P_{\text{об.оп}}$;
- системы противодымной вентиляции с надежностью выполнения задачи P_v .

Обозначим вероятность события $t_{\text{бл}} > t_{\text{н.э}} + t_p$ при реализации j -го подсценария i -го сценария пожара как

$$I_{ij} = \text{Вер}_{ij}(t_{\text{бл}} > t_{\text{н.э}} + t_p). \quad (12)$$

Можно принять, что в случае успешного тушения очага пожара первичными средствами пожаротушения или спринклерной системой автоматического пожаротушения условия для успешной эвакуации будут обеспечены.

Тогда на основе дерева событий (см. рис. 8) получим:

$$\begin{aligned} R_{i1} &= Q_{\text{п}} P_{\text{пс}}; \\ R_{i2} &= Q_{\text{п}} (1 - P_{\text{пс}}) P_A; \\ R_{i3} &= Q_{\text{п}} (1 - P_{\text{пс}}) (1 - P_A) P_{\text{об.оп}} P_v I_{i3}; \\ R_{i4} &= Q_{\text{п}} (1 - P_{\text{пс}}) (1 - P_A) P_{\text{об.оп}} (1 - P_v) I_{i4}; \\ R_{i5} &= Q_{\text{п}} (1 - P_{\text{пс}}) (1 - P_A) P_v (1 - P_{\text{об.оп}}) I_{i5}; \\ R_{i6} &= Q_{\text{п}} (1 - P_{\text{пс}}) (1 - P_A) (1 - P_{\text{об.оп}}) (1 - P_v) I_{i6}. \end{aligned} \quad (13)$$

При этом в формуле (13) значения $Q_{\text{п}}$, P_A , $P_{\text{об.оп}}$ и P_v должны быть установлены заранее, а для расчета вероятностей I_{ij} (I_{i3} , I_{i4} , I_{i5} и I_{i6}) по формуле (12) может быть принята одна из рассмотренных выше имитационных моделей.

Случайными входными факторами при расчете времени блокирования $t_{\text{бл}}$ являются, например, следующие [26]:

- удельная скорость выгорания Ψ (кг/(м²·с));
- линейная скорость распространения пламени по поверхности $V_{\text{л}}$ (м/с);
- дымообразующая способность горючих материалов $D_{\text{п}}$ (Н·м²/кг);
- максимальная площадь пожара S_{max} (м²);
- количество эвакуирующихся людей на этажах здания;
- время начала эвакуации;
- высота расположения очага.

Случайные входные факторы при отсутствии дополнительных данных по их законам распределения можно аппроксимировать, соответственно, рав-

номерным, треугольным и усеченным нормальными законами распределения случайных величин.

При оценке времени эвакуации $t_{\text{эв}}$ в качестве случайных входных факторов целесообразно принять следующие:

- скорости движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности [25, 27]: $V = \varphi(D)$;
- распределения людей по помещениям на момент начала эвакуации и время начала их эвакуации $t_{\text{н.э}}$.

Как известно [28], при стохастическом моделировании методом Монте-Карло оценка вероятности события проводится через отношение

$$I_{ij} = n_{ij} / M_i, \quad (14)$$

где n_{ij} — количество испытаний, при которых получен искомый результат, например $t_p + t_{\text{н.э}} < t_{\text{бл}}$;

M_i — общее число статистических испытаний.

При этом следует учитывать, что при скоплении людей на путях эвакуации плотностью свыше 0,5 м²/м² в течение более 6 мин вероятность эвакуации равна нулю, поэтому при обработке результатов статистических испытаний используются оценки:

$$I_{ij} = (n_{ij} - n_{\text{ск}}) / M_i, \quad (15)$$

где $n_{\text{ск}}$ — количество испытаний, при которых плотность людского потока в течение 6 мин превышала критическое значение.

Вероятность тушения пожара на ранней стадии с использованием первичных средств пожаротушения определяется по статистическим данным о пожарах или расчетным путем. Например, при тушении пожара в помещении с очагом пожара только стволом от внутреннего противопожарного водопровода вероятность тушения пожара [19]

$$P_{\text{пс}} = \text{Вер}(Q_{\text{тр}} \leq Q_{\text{ф}}), \quad (16)$$

где $Q_{\text{тр}}$, $Q_{\text{ф}}$ — случайные величины;

$Q_{\text{тр}}$ — требуемый расход огнетушащего средства на тушение пожара, л/с;

$Q_{\text{ф}}$ — фактически обеспечиваемый расход, л/с.

В этой модели параметры $Q_{\text{ф}}$, $V_{\text{л}}$, необходимая интенсивность подачи огнетушащих средств J (л/(с·м²)) и время распространения горения от начала его возникновения до подачи первого ствола τ (мин) являются случайными величинами.

В инженерных расчетах величина $P_{\text{пс}}$ определяется по формуле

$$\begin{aligned} P_{\text{пс}} &= K_1 K_2 \text{Вер}(Q_{\text{тр}} < Q_{\text{ф}}) = \\ &= K_1 K_2 \Phi \left(\frac{\bar{Q}_{\text{ф}} - \bar{Q}_{\text{тр}}}{\sqrt{\sigma_{\text{ф}}^2 + \sigma_{\text{тр}}^2}} \right), \end{aligned} \quad (17)$$

где K_1 — вероятность нахождения в помещении очага пожара людей, обученных тушению пожара;

K_2 — вероятность нахождения внутреннего противопожарного водопровода в работоспособном состоянии;

Φ — функция нормированного нормального распределения;

$\bar{Q}_\Phi, \bar{Q}_{\text{тр}}$ — математические ожидания Q_Φ и $Q_{\text{тр}}$;

$\sigma_\Phi, \sigma_{\text{тр}}$ — стандартные отклонения Q_Φ и $Q_{\text{тр}}$.

С учетом принимаемого равномерного закона распределения случайной величины Q_Φ в диапазоне $Q_{\min} \leq Q_\Phi \leq Q_{\max}$

$$\bar{Q}_\Phi = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{2}; \sigma_\Phi = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{6}. \quad (18)$$

Для круговой модели пожара математическое ожидание и стандартное отклонение требуемого расхода воды на цели пожаротушения определяются соответственно как

$$\bar{Q}_{\text{тр}} = \frac{\pi}{4} \bar{J} \bar{\tau}^2 \bar{V}_\lambda^2; \quad (19)$$

$$\sigma_{\text{тр}}^2 = \left(\frac{\pi}{4} \bar{\tau}^2 \bar{V}_\lambda^2 \right)^2 \sigma_J^2 + \left(\frac{\pi}{2} \bar{J} \bar{\tau} \bar{V}_\lambda^2 \right)^2 \sigma_\tau^2 + \left(\frac{\pi}{2} \bar{J} \bar{\tau}^2 \bar{V}_\lambda \right)^2 \sigma_V^2, \quad (20)$$

где “черта” над параметрами обозначает математические ожидания соответствующих величин;

σ_J — стандартное отклонение интенсивности подачи J , л/(с·м²);

σ_τ — стандартное отклонение времени подачи первого ствола, с;

σ_V — стандартное отклонение скорости распространения продуктов горения, м/с.

В общем случае для оценки вероятности $P_{\text{пс}}$ необходимо составить дерево событий (отказов), учитывающее надежность использования внутреннего противопожарного водопровода, огнетушителей, подручных средств пожаротушения. Оценка эффективности отдельных первичных средств может быть получена по статистическим данным по пожарам, на основе которых можно определить $P_{\text{пс}}$.

При стохастическом моделировании для оценки $\text{Вер}(t_{\text{бл}} > t_{\text{н.э}} + t_{\text{р}})$ необходимо в дальнейшем стандартизировать минимальный набор случайных входных факторов в зависимости, в первую очередь, от класса функциональной пожарной опасности объектов, их степени огнестойкости, этажности зданий. Информационное обеспечение моделирования должно включать справочные данные и результаты научных исследований.

Выводы

1. Анализ опыта применения нормативных документов показывает, что существующая Методика определения расчетных величин пожарного риска в

зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [4] отличается определенной ограниченностью в силу детерминизма представления в ней расчетных величин и поэтому требует переработки на основе учета стохастичности процессов и функционирования систем противопожарной защиты, определяющих безопасность людей на начальной стадии пожара.

2. Предложена методологическая концепция разработки редакции Методики [5], основанной на вероятностных представлениях и позволяющей учитывать произошедшие за последние десятилетия изменения демографической структуры населения мира [29, 30] и вариабельность состава людских потоков в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности. Вероятностная методика открывает возможность для учета результатов новаторских технических решений систем противопожарной защиты в зданиях и сооружениях всех классов функциональной пожарной опасности.

3. Происходящие изменения значений параметров поведения людей заставляют авторов зарубежных эмпирических моделей расчетных зависимостей между параметрами людских потоков отказаться от их применения [31, 32]. Установленные же в России закономерности связей между ними дают возможность продуктивно расширять область их применения, поскольку позволяют учитывать происходящие изменения демографической структуры населения за счет органического учета вероятностной структуры людских потоков и открытой психофизиологической обусловленности наблюдаемых значений параметров движения различных возрастных групп людей в соответствии с их изменяющимися физическими возможностями.

4. Установленные психофизические закономерности работы спасателей [33] позволяют включить этот процесс в состав предлагаемой Методики.

5. Предлагаемая методология определения расчетной величины пожарного риска должна быть активно использована при предстоящем переходе проектирования зданий и сооружений на использование системы строительных норм [34].

6. Разработка новой вероятностной методики потребует больших затрат сил и времени для разработки необходимого математического и программного обеспечения с использованием имитационного моделирования, их внедрения в практику оценки пожарных рисков. В связи с этим вполне естественно, что в определенный период новая вероятностная методика может использоваться параллельно с существующей детерминированной методикой для оценки пожарной опасности особо важных и ответственных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 15.11.2016).
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (в ред. 2016) // Российская газета. — 31.12.2009. — № 255.
3. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (в ред. 2016) // Российская газета. — 2002. — № 245.
4. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382; введ. 30.06.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
5. Изменения, вносимые в приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 : приказ МЧС России от 02.12.2015 № 632. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191988/ (дата обращения: 04.01.2016).
6. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков / Пер. с англ. — М. : Мир, 1966. — 288 с.
7. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Белосохов И. Р., Истратов Р. Н., Кудрин И. С., Парфёненко А. П. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 3. — С. 41–51.
8. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Белосохов И. Р., Истратов Р. Н., Кудрин И. С., Парфёненко А. П. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения (окончание) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 4. — С. 31–39.
9. МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве. — Введ. 28.12.2005 // Вестник Мэра и Правительства Москвы. — 2006. — № 7.
10. Пособие по применению “Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности” / А. А. Абашкин и др. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ВНИИПО, 2014. — 226 с.
11. Буга П. Г. Исследование пешеходного движения в городских узлах : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1974.
12. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков : учебное пособие для вузов. — 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Стройиздат, 1979. — 375 с.
13. 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.
14. Холщевников В. В., Гилетич А. Н., Ушаков Д. В., Парфёненко А. П. Общая закономерность изменения параметров движения людских потоков различного функционального контингента в зданиях и сооружениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 12. — С. 32–41.
15. Никонов С. А. Разработка мероприятий по организации эвакуации при пожарах в зданиях с массовым пребыванием людей на основе моделирования движения людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1985.
16. Костерин И. В. Оценка вероятности эвакуации людей при пожарах из зданий с многосветными пространствами : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012.
17. Кудрин И. С. Влияние параметров движения людских потоков при пожаре на объемно-планировочные решения высотных зданий : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2013. — 190 с.
18. Заикин С. В., Бушманов С. А., Парфёненко А. П., Белосохов И. Р. Обеспечение безопасности людей при пожарах в зданиях посредством применения самоспасателей. Часть 3. Результаты испытаний и их обсуждение // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 4. — С. 25–30.
19. Присадков В. И., Мусласова С. В., Костерин И. В., Фадеев В. Е., Шамаев А. М. Расчетные оценки эффективности тушения пожара в очаге внутренним противопожарным водопроводом // Пожарная безопасность. — 2017. — № 1 (принята к печати).
20. Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М., Некрасов В. П., Гилетич А. Н. Оценка влияния автоматических установок пожаротушения на величину пожарного риска для производственных объектов // Пожарная безопасность. — 2011. — № 1. — С. 72–83.

21. Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М., Шебеко А. Ю., Дроздов А. Е., Кириллов Д. С., Гилетич А. Ю. Совершенствование методов определения расчетных величин пожарного риска для производственных объектов // Пожарная безопасность. — 2011. — № 3. — С. 57–65.
22. Самошин Д. А. К вопросу о защите людей техническими средствами пожарной автоматики // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 12. — С. 53–59. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.53-59.
23. 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.
24. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Istratov R. I. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire // Human Behaviour In Fire : Proceedings of 5th International Symposium. — Cambridge, UK, 2012. — P. 587–593.
25. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Парфёненко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосокхов И. Р. Эвакуация и поведение людей при пожарах : учебное пособие. — М. : АГПС МЧС России, 2015. — 260 с.
26. Костерин И. В., Присадков В. И., Лицкевич В. В. Вероятностная модель оценки времени блокирования эвакуационных путей при развитии пожара в зданиях с многосветными пространствами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 45–48.
27. Самошин Д. А. Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации. — М. : АГПС МЧС России, 2016. — 209 с.
28. Лоу А. М., Кельтон В. Д. Имитационное моделирование / Пер. с англ. — СПб. : Питер; Киев : Изд. группа BHV, 2004. — 847 с.
29. Всемирный доклад об инвалидности / Всемирная организация здравоохранения, Всемирный банк. — Мальта, 2012. — 350 с.
30. World health statistics (NLM classification : WA 900.1). — Geneva : World Health Organization Press, 2014. — 178 p.
31. 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.
32. Pauls J. L., Fruin J. J., Zupan J. M. Minimum stair width for evacuation, overtaking movement and counterflow — Technical bases and suggestions for the past, present and future // Pedestrian and Evacuation Dynamics / Waldau-Drexler N., Gattermann P., Knoflacher H., Schreckenberg M. (eds.). — Berlin : Springer Verlag, 2005. — P. 57–69. DOI: 10.1007/978-3-540-47064-9_5.
33. Истратов Р. Н. Исследование возможностей спасения при пожаре немобильных людей из стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 54–63.
34. Степанов А. Ю., Михеев Д. В. Актуальные задачи технического нормирования в области создания безбарьерной среды // Проектирование комфортной, безопасной и доступной среды. Актуальные вопросы нормирования : научно-практическая конференция / Минстрой России; Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве. — М., 2016.

Материал поступил в редакцию 30 ноября 2016 г.

Для цитирования: Холщевников В. В., Присадков В. И., Костерин И. В. Совершенствование методологии определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях на основе стохастического описания определяющих их процессов и деревьев событий // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17.

English

IMPROVEMENT METHODOLOGY FOR DETERMINING THE CALCULATED VALUE OF THE FIRE RISK IN BUILDINGS AND STRUCTURES BASED ON STOCHASTIC DESCRIPTION OF DETERMINING THEIR PROCESSES AND TREES EVENTS

KHOLSHCHEVNIKOV V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: reglament2004@mail.ru)

PRISADKOV V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: z080637@yandex.ru)

KOSTERIN I. V., Candidate of Technical Sciences, Head of Office of Research Expertise and Consulting Department, Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; e-mail: kosteriniv@gmail.com)

ABSTRACT

It was analyzed the current state of methodology for determining the estimated value of fire risk in buildings, structures and fire compartments of different classes of functional fire hazard (Annex to the Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia on 30.06.2009 No. 382 as amended on 02.12.2015). It was founded that the main parameters used in the procedure are random variables and functions, describing stochastic processes in nature. In the same procedure there are used deterministic parameters of the calculated values, which can sometimes lead to the actual non-compliance with the normative values of individual fire risk.

It is shown that the probability of evacuation, accepted under certain conditions equal to 0.999, shall be provided and calculated taking into account the random nature of the spread of fire hazards and processes evacuation during fires, fire safety characteristics of the system objects.

It is proposed to improve the methodology for assessing individual fire risk for public facilities in the following areas:

- 1) improved methods of structure;
- 2) consideration of the stochastic nature of the input factors affecting the magnitude of the fire risk;
- 3) accounting for stochastic processes of evacuation, the emergence and spread of fire hazards in the way of evacuation;
- 4) extension of the list of input factors that affect the value of fire risk, based on their probability characteristics.

In this case the object is given a list of fire scenarios, which is described as an event tree.

To simplify accounting stochastic computational variables and processes dynamics hazards of fire and evacuation of magnitude Q_v , individual fire risk assessment proposed to be carried out in two stages. In the first stage, covering the calculated variants of fire scenarios, the probability of a successful evacuation $Ver(t_{bl} > t_{se} + t_e)$, where t_{bl} — while blocking dangerous factors of fire escape routes; t_{se} — the start time of the evacuation; t_e — time of the evacuation can be carried out Monte Carlo using simulation systems. In the second stage payment identified in the first phase of extreme situations is carried out using the specified models, fully taking into account the specifics of the individual movements of people that make up the flow of evacuees in this building, and possible dynamics of fire hazards taking into account peculiarities of functioning of its engineering systems.

The proposals on improvement of individual risk methods allow to increase the reliability and accuracy of the estimates, although stipulate additional requirements in terms of knowledge of random variables of input factors distributions.

Keywords: individual fire risk; probabilistic and stochastic analysis; tree event; fire scenarios; probability of evacuation; calculation methods of fire risk.

REFERENCES

1. *Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016)* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 15 November 2016).
2. About safety of buildings and constructions. Federal Law on 30.12.2009. *Rossiyskaya gazeta (Russian Newspaper)*, 31.12.2009, no. 255 (in Russian).
3. On technical regulation. Federal Law on 27.12.2002 No. 184. *Rossiyskaya gazeta (Russian Newspaper)*, 2002, no. 245 (in Russian).

4. *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.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
5. *Changes to Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382. Order of Emercom of Russia on 02.12.2015 No. 632* (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191988/ (Accessed 4 January 2016).
6. Haight F. A. *Mathematical theories of traffic flow*. New York, London, Academic Press, 1963 (Russ. ed.: Kheyт F. Matematicheskaya teoriya transportnykh potokov. Moscow, Mir Publ., 1966. 288 p.).
7. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Belosokhov I. R., Istratov R. N., Kudrin I. S., Parfenenko A. P. The paradoxes of safe buildings evacuation regulations and their resolution. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 3, pp. 41–51 (in Russian).
8. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Belosokhov I. R., Istratov R. N., Kudrin I. S., Parfenenko A. P. The paradoxes of safe buildings evacuation regulations and their resolution (ending). *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 31–39 (in Russian).
9. Moscow city construction norms 4.19–2005. Temporary regulations multifunctional design of highrise 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).
10. Abashkin A. A. et al. *Aid on the use of the method for determining the estimated fire risk in buildings, structures and buildings of various classes of functional fire hazards*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2014. 226 p. (in Russian).
11. Buga P. G. *Research walking in urban nodes*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1974 (in Russian).
12. Predtechenskiy V. M., Milinskiy A. I. *Design of buildings taking into account organization of the movement of pedestrian flows*. Edition 2. Moscow, Stroyizdat, 1979. 375 p. (in Russian).
13. 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).
14. Kholshchevnikov V. V., Giletich A. N., Ushakov D. V., Parfenenko A. P. The general pattern between parameters of the movement of a human flow for different contingent in the buildings and constructions. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 12, pp. 32–41 (in Russian).
15. Nikonov S. A. *Development of measures for evacuation during fires in buildings with a mass stay of people on the basis of modeling foot traffic*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 1985 (in Russian).
16. Kosterin I. V. *Estimating the probability of evacuation during fires in buildings with open spaces*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2012 (in Russian).
17. 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).
18. Zaikin S. V., Bushmanov S. A., Parfenenko A. P., Belosokhov I. R. Supporting safety of people under fires in buildings by the use of the respiratory protective devices. Part 3. Results of tests and their arguing. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 25–30 (in Russian).
19. Prisadkov V. I., Muslakova S. V., Kosterin I. V., Fadeev V. E., Shamaev A. M. Estimates the effectiveness of extinguishing a fire in the hearth with internal plumbing. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2017, no. 1 (in press) (in Russian).
20. Shebeko Yu. N., Gordienko D. M., Nekrasov V. P., Giletich A. N. Estimation of influence of automatic fire extinguishing systems on size of fire risk for industrial facilities. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2011, no. 1, pp. 72–83 (in Russian).
21. Shebeko Yu. N., Gordienko D. M., Shebeko A. Yu., Drozdov A. E., Kirillov D. S., Giletich A. N. An improvement of the methods for a fire risk assessment at industrial facilities. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2011, no. 3, pp. 57–65 (in Russian).
22. Samoshin D. A. Towards the discussion of the protection of building occupants with technical means of fire automatics. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 12, pp. 53–59 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.53-59.
23. 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.

24. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Istratov R. I. The problems of elderly people safe evacuation from senior citizen health care buildings in case of fire. In: *Human Behaviour In Fire. Proceedings of 5th International Symposium*. Cambridge, UK, 2012, pp. 587–593.
25. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Parfenenko A. P., Kudrin I. S., Istratov R. N., Belosohov I. R. *The evacuation and human behavior in fires. Tutorial*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015. 260 p. (in Russian).
26. Kosterin I. V., Prisadkov V. I., Litskevich V. V. Probabilistic model of estimation of the time of evacuation routes blocking the development from atrium at the fire in public buildings. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 45–48 (in Russian).
27. Samoshin D. A. *The composition of the flows of people and the parameters of their movement during the evacuation*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2016. 209 p. (in Russian).
28. Law A. M., Kelton W. D. *Simulation modeling and analysis*. Osborne, McGrae-Hill, 2000 (Russ. ed.: Lou A. M., Kelton V. D. Imitatsionnoye modelirovaniye. Saint Petersburg, Piter Publ., Kiev, Izdatel'skaya gruppa VNV, 2004. 847 p.).
29. *The World Report on Disability*. World Health Organization, The World Bank. Malta, 2012. 350 p. (in Russian).
30. *World health statistics (NLM classification: WA 900.1)*. Geneva, World Health Organization Press, 2014. 178 p.
31. 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.
32. Pauls J. L., Fruin J. J., Zupan J. M. Minimum stair width for evacuation, overtaking movement and counterflow — Technical bases and suggestions for the past, present and future. In: Waldau-Drexler N., Gattermann P., Knoflacher H., Schreckenberger M. (eds.). *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Berlin, Springer Verlag, 2005, pp. 57–69. DOI: 10.1007/978-3-540-47064-9_5.
33. Istratov R. N. Study on rescue possibilities of immobile people from medical and social institutions in case of fire. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 54–63 (in Russian).
34. Stepanov A. Yu., Mikheev D. V. Actual problems of technical regulation in the field of barrier-free environment. In: *Designing of the comfortable, safety and accessible environment. Topical issues of regulation. Proceedings of Scientific and Practical Conference*. Moscow, 2016 (in Russian).

For citation: Kholshchevnikov V. V., Prisadkov V. I., Kosterin I. V. Improvement methodology for determining the calculated value of the fire risk in buildings and structures based on stochastic description of determining their processes and trees events. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 5–17. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.5-17.

С. В. ПУЗАЧ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина; e-mail: puzachsv@mail.ru)

О. С. ЛЕБЕДЧЕНКО, канд. юрид. наук, доцент, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ol-26@mail.ru)

УДК 614.841.4

РАСПОЛОЖЕНИЕ ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНЫХ УЧАСТКОВ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПО ВЫСОТЕ КОНВЕКТИВНОЙ КОЛОНКИ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ НАД ИСТОЧНИКОМ НАТЕКАНИЯ ВОДОРОДА В ПОМЕЩЕНИЕ

Предложена математическая модель расчета распределения средних по сечению концентраций водорода по высоте конвективной колонки, образующейся над источником его натекания в помещение. Показано, что расход воздуха, вовлекаемого в колонку, определяется с использованием угла полураскрытия колонки. Из анализа результатов сопоставления расчетов по предложенной модели с экспериментальными данными, приведенными в литературных источниках, получена зависимость угла полураскрытия от числа Фруда. Представлены результаты численных экспериментов по определению зависимостей высоты начала и окончания участков колонки от уровня источника натекания водорода, приходящихся на пожаро- и взрывоопасные водородно-воздушные смеси, от числа Рейнольдса на выходе из отверстия, через которое водород поступает в помещение. Показано, что при турбулентном режиме истечения угол полураскрытия колонки и безразмерные длины пожаро- и взрывоопасной зон практически не зависят от числа Рейнольдса.

Ключевые слова: водород; водородно-воздушная смесь; конвективная колонка; взрывоопасная зона; пожароопасная зона.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.18-24

Введение

Прогнозированию динамики образования и развития локальных пожаро- и взрывоопасных зон в водородно-воздушной смеси, образующейся при натекании водорода в помещение, посвящено большое количество работ [1–9]. Однако из-за сложности протекающих турбулентных процессов тепломассообмена задача до конца не решена.

В соответствии с [10] коэффициент участия водорода в горении и взрыве может быть рассчитан на основе характера распределения газа в объеме помещения и принимается $Z_h = 1$ (по табл. А.1 [10]).

При натекании водорода в помещение для определения длин участков колонки, приходящихся на горючие и взрывоопасные водородно-воздушные смеси, необходимо рассчитать концентрационные поля. В общем случае эта задача является существенно нестационарной и трехмерной [3] и требует численного решения исходной системы уравнений.

Однако существует ряд модельных задач, из которых можно аналитически определить распреде-

ление концентрации при натекании водорода в помещение. Например, в работе [11] аналитически решена задача для одномерной стационарной концентрационной диффузии водорода в воздухе, в статье [12] — для случая ламинарной или турбулентной конвекции на горизонтальной поверхности, через которую натекает водород, при ее обдуве потоком воздуха.

В настоящей работе рассматривается модельная задача распространения водорода в области конвективной колонки, образующейся над источником его натекания в помещение.

В отличие от работы [1], где в уравнении изменения расхода водородно-воздушной смеси по высоте конвективной колонки расход воздуха, вовлекаемого в колонку, определяется с использованием эмпирического коэффициента подмешивания, в аналогичном уравнении в настоящей статье задается угол полураскрытия колонки.

В работе [2] также рассматривается подобная задача, но при ее решении не учитывается подсос воздуха в колонку.

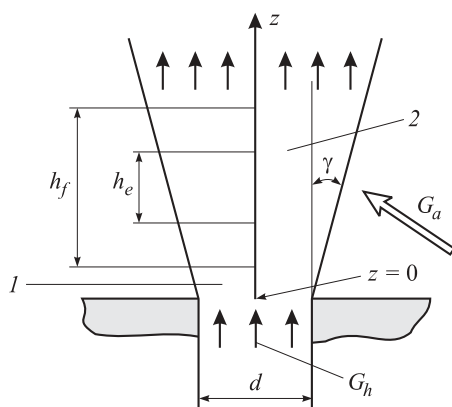


Рис. 1. Условная схема газодинамической картины при натекании водорода в помещение: 1 — отверстие; 2 — конвективная колонка

Постановка задачи

Условная схема газодинамической картины при натекании водорода в помещение представлена на рис. 1. На рисунке приняты следующие обозначения: z — координата вдоль высоты конвективной колонки, отсчитываемая от уровня выходного сечения отверстия, через которое водород поступает в помещение, м; γ — угол полуоткрытия конвективной колонки, град; G_h — массовый расход водорода, поступающего через отверстие в помещение, кг/с; G_a — массовый расход воздуха, подмешивающегося в конвективную колонку, кг/с; d — диаметр отверстия, через которое водород поступает в помещение, м; h_f и h_e — длина соответственно пожароопасного ($X_{f1} \leq X_h \leq X_{f2}$) и взрывоопасного ($X_{e1} \leq X_h \leq X_{e2}$) участков конвективной колонки; X_h — средняя по поперечному сечению колонки на высоте z массовая концентрация водорода; X_{f1} и X_{f2} — нижний и верхний концентрационные пределы горения соответственно; X_{e1} и X_{e2} — нижний и верхний концентрационные пределы детонации соответственно.

Через отверстие 1 происходит поступление водорода с расходом G_h из емкости в помещение. Под действием подъемных сил и перепада давлений в емкости с водородом и помещении над источником натекания образуется конвективная колонка 2, в которую подмешивается окружающий воздух с переменным по высоте z расходом G_a .

Математическая модель

Рассматриваем течение водородно-воздушной смеси внутри конвективной колонки как стационарное, одномерное и изотермическое. Принимаем, что в каждом сечении колонки параметры газовой смеси задаются осредненными по сечению значениями.

Массовый расход G (кг/с) водородно-воздушной смеси, проходящей через поперечное сечение конвективной колонки на высоте z , определяется как

$$G = G_h + G_a = \rho_m w_z F, \quad (1)$$

где ρ_m — средняя плотность водородно-воздушной смеси на высоте z , кг/м³;

w_z — проекция средней скорости на ось z на высоте z , м/с;

F — площадь поперечного сечения колонки на высоте z , м².

Массовый расход G можно также представить в виде:

$$G = G_h / X_h. \quad (2)$$

Площадь поперечного сечения колонки в форме круга на высоте z составляет:

$$F = \pi(d/2 + z \operatorname{tg} \gamma)^2. \quad (3)$$

Уравнение движения в одномерном стационарном случае при переменной площади поперечного сечения колонки имеет вид [13]:

$$d/dz (\rho_m w_z^2 F + pF) = p (dF/dz), \quad (4)$$

где p — давление воздуха на высоте z , Па.

Градиент давления по высоте

$$dp/dz = -\rho_a g, \quad (5)$$

где ρ_a — плотность воздуха, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Используя уравнение состояния водородно-воздушной смеси [14] и выразив газовую постоянную смеси через массовые концентрации компонентов [14], дифференциальное уравнение (4) в случае постоянства температуры и давления смеси с использованием уравнений (1)–(3) и (5) можно привести к виду:

$$\begin{aligned} \frac{dX_h}{dz} = & \left[\frac{B}{X_h (\mu_a - \mu_h) + \mu_h} - \rho_a \right] \times \\ & \times \frac{g (d/2 + z \operatorname{tg} \gamma)^4}{A [\mu_a - \mu_h + 2\mu_h/X_h]} - \\ & - \frac{2 \operatorname{tg} \gamma [(\mu_a - \mu_h) X_h - \mu_h]}{(d/2 + z \operatorname{tg} \gamma) [\mu_a - \mu_h + 2\mu_h/X_h]} + \\ & + \frac{2p_0 (d/2 + z \operatorname{tg} \gamma)^3 \operatorname{tg} \gamma X_h^2}{A [\mu_a - \mu_h + 2\mu_h/X_h]}, \end{aligned} \quad (6)$$

где B — размерный параметр, кг²/(м³·кмоль);

$B = p_0 \mu_h \mu_a / (R_\mu T)$;

p_0 — давление воздуха на высоте $z = 0$, Па;

μ_a, μ_h — молярные массы соответственно воздуха и водорода, кг/кмоль;

R_μ — универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К);

T — температура воздуха, К;

A — размерный параметр, м³·кмоль/с²; $A = \frac{G_h^2}{\pi^2 B}$.

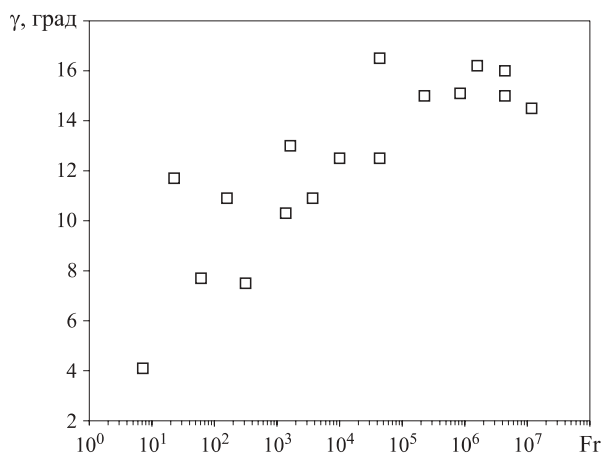


Рис. 2. Зависимость угла полуоткрытия конвективной колонки от числа Фруда

Дифференциальное уравнение (6) решено численным методом Рунге – Кутты 4-го порядка точности [15].

Результаты тестовых расчетов

Для определения заранее неизвестного угла полуоткрытия конвективной колонки, входящего в дифференциальное уравнение (6), были проведены тестовые расчеты.

Угол γ подбирался таким образом, чтобы при решении уравнения (6) начало пожароопасного участка конвективной колонки соответствовало экспериментальным данным [2].

При этом в соответствии с работой [16] (переводя объемные доли водорода в массовые)

$$X_{f1} = 0,0029; X_{f2} = 0,164; X_{e1} = 0,0149; X_{e2} = 0,087.$$

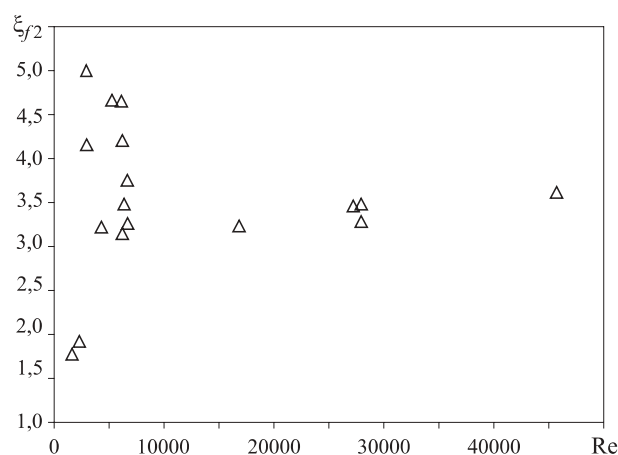


Рис. 3. Зависимость безразмерной координаты ξ_{f2} до поперечного сечения колонки, в котором средняя массовая концентрация водорода равна верхнему концентрационному пределу горения, от числа Рейнольдса Re : $Re = \rho_h w_0 d / \mu_h$; ρ_h — плотность водорода на срезе отверстия, kg/m^3 ; μ_h — коэффициент кинематической вязкости водорода, $kg/(m \cdot s)$; $\xi_{f2} = z_{f2} / d$; z_{f2} — координата по оси z до поперечного сечения колонки, где $X_h = X_{f2}$

На рис. 2 представлена зависимость угла полуоткрытия конвективной колонки от числа Фруда ($Fr = w_0^2 / (gd)$, где w_0 — вертикальная проекция скорости водорода на срезе отверстия l (см. рис. 1), m/s), представленного в логарифмической координате.

Из рис. 2 видно, что величина γ в турбулентной области течения находится в пределах $10-17^\circ$, что соответствует экспериментальным данным по углу полуоткрытия конвективной колонки при пожаре [17] и распространении водорода [18].

Результаты расчетов

При решении уравнения (6) использовались значения угла полуоткрытия конвективной колонки, полученные из тестовых расчетов (см. рис. 2).

На рис. 3–6 представлены зависимости безразмерных высот поперечных сечений конвективной

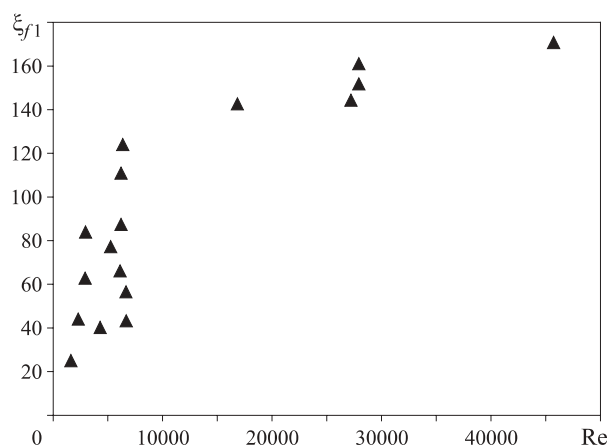


Рис. 4. Зависимость безразмерной координаты ξ_{f1} до поперечного сечения колонки, в котором средняя массовая концентрация водорода равна нижнему концентрационному пределу горения, от числа Рейнольдса; $\xi_{f1} = z_{f1} / d$; z_{f1} — координата по оси z до поперечного сечения колонки, где $X_h = X_{f1}$

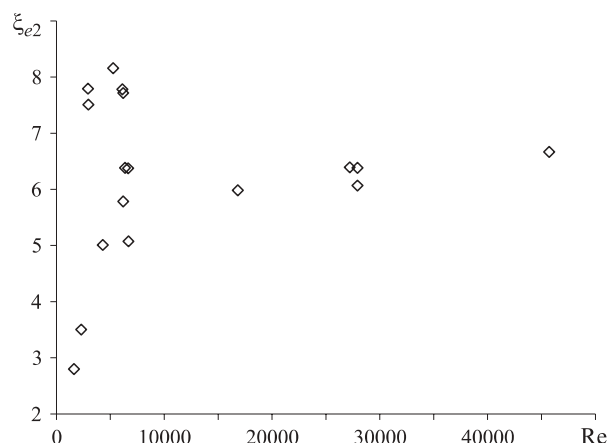


Рис. 5. Зависимость безразмерной координаты ξ_{e2} до поперечного сечения колонки, в котором средняя массовая концентрация водорода равна верхнему концентрационному пределу детонации, от числа Рейнольдса; $\xi_{e2} = z_{e2} / d$; z_{e2} — координата по оси z до поперечного сечения колонки, где $X_h = X_{e2}$

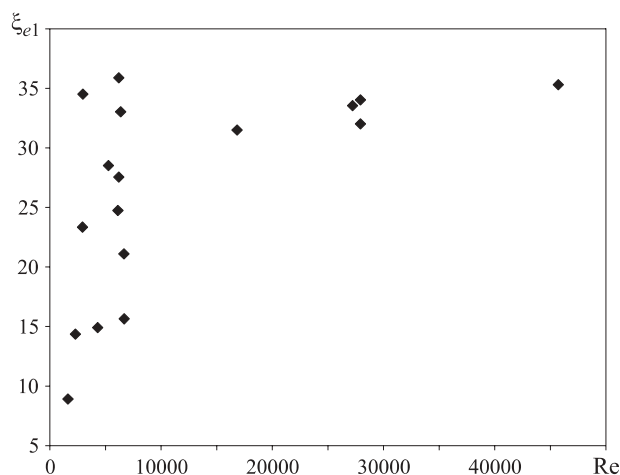


Рис. 6. Зависимость безразмерной координаты ξ_{e1} до поперечного сечения колонки, в котором средняя массовая концентрация водорода равна нижнему концентрационному пределу детонации, от числа Рейнольдса; $\xi_{e1} = z_{e1}/d$; z_{e1} — координата по оси z до поперечного сечения колонки, где $X_h = X_{e1}$

колонки, ограничивающих пожаро- и взрывоопасные участки водородно-воздушной смеси.

Зависимости безразмерных длин пожаро- и взрывоопасных участков водородно-воздушной смеси, находящейся внутри конвективной колонки, приведены на рис. 7.

Из рис. 3–7 видно, что:

- при ламинарном ($Re < 2300$) и переходном ($2300 < Re < 10^4$) режимах истечения струи водорода из отверстия безразмерные координаты по высоте пожаро- и взрывоопасных участков конвективной колонки существенно зависят от числа Рейнольдса;
- при турбулентном режиме истечения ($Re > 10^4$) происходит стабилизация расположения и размеров пожаро- и взрывоопасных участков.

В случае турбулентного режима истечения безразмерная длина пожароопасной зоны составляет $\xi_f = h_f/d = 141 \div 167$, а безразмерная длина взрывоопасной зоны — $\xi_e = h_e/d = 25,1 \div 28,7$.

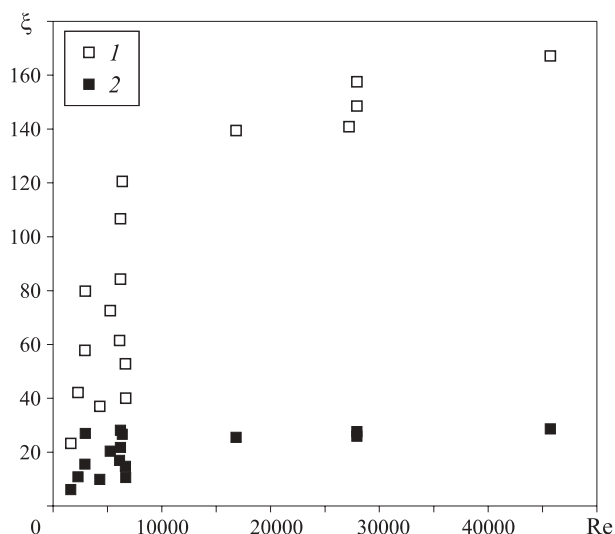


Рис. 7. Зависимости безразмерных длин пожароопасных (1) и взрывоопасных (2) участков водородно-воздушной смеси, находящейся внутри конвективной колонки: 1 — $\xi = h_f/d$; 2 — $\xi = h_e/d$

Выводы

Безразмерные размеры взрыво- и пожароопасных зон водородно-воздушной смеси по высоте конвективной колонки, образующейся над источником натекания водорода в помещение, а также угол полураскрытия конвективной колонки при ламинарном и переходном режимах течения на выходе из отверстия, через которое водород поступает в помещение, существенно зависят от расхода водорода и эквивалентного диаметра вышеуказанного отверстия.

При турбулентном режиме истечения безразмерные размеры вышеуказанных зон и угол полураскрытия конвективной колонки практически постоянны.

Для более точной оценки распространения водорода в конвективной колонке необходимо учитывать трехмерную нестационарную конвекцию, возникающую при испарении водорода в помещение, например, по методу расчета, предложенному в [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевяков Г. Г., Савельева Н. И. Распространение и горение струи водорода в открытой атмосфере // Международный научный журнал “Альтернативная энергетика и экология” (ISJAEE). — 2004. — № 1(9). — С. 23–27.
2. Домашенко А. М. Проблемы взрывобезопасности при создании и эксплуатации промышленных систем хранения и транспортирования жидкого водорода. Стандарты // Первый всемирный конгресс “Альтернативная энергетика и экология” (WCAEE). — 2006. — С. 29–38.
3. Puzach S. V. Some features of formation of local combustible hydrogen-air mixtures during continuous release of hydrogen in a room // International Journal of Hydrogen Energy. — 2003. — Vol. 28, No. 9. — P. 1019–1026. DOI: 10.1016/s0360-3199(02)00165-9.
4. Горев В. А. О концентрационных пределах распространения пламени в системе водород – воздух // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 12. — С. 23–26.

5. Agrawal N., Velusamy K., Das S. K. A method to characterize mixing and flammability of hydrogen-air mixtures in enclosures // *International Journal of Hydrogen Energy*. — 2011. — Vol. 36, No. 19. — P. 12607–12617. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.06.116.
6. Vollmer K. G., Ettner F., Sattelmayer T. Deflagration-to-detonation transition in hydrogen/air mixtures with a concentration gradient // *Combustion Science and Technology*. — 2012. — Vol. 184, No. 10-11. — P. 1903–1915. DOI: 10.1080/00102202.2012.690652.
7. Rubtsov N. M., Seplyarskii B. S. Concentration limits of combustion in rich hydrogen-air mixtures in the presence of inhibitors // *Mendeleev Communications*. — 2010. — Vol. 20, No. 5. — P. 296–298. DOI: 10.1016/j.mencom.2010.09.020.
8. Dorofeev S. B., Sidorov V. P., Dvornishnikov A. E., Breitung W. Deflagration to detonation transition in large confined volume of lean hydrogen-air mixtures // *Combustion and Flame*. — 1996. — Vol. 104, No. 1-2. — P. 95–110. DOI: 10.1016/0010-2180(95)00113-1.
9. Boeck L. R., Berger F. M., Hasslberger J., Sattelmayer T. Detonation propagation in hydrogen-air mixtures with transverse concentration gradients // *Shock Waves*. — 2015. — Vol. 26, Issue 2. — P. 181–192. DOI: 10.1007/s00193-015-0598-8.
10. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 34 с.
11. Пузач С. В., Лебедченко О. С., Воробьев Н. С. Модельная задача определения коэффициентов участия водорода в горении и взрыве // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 16–18.
12. Пузач С. В., Лебедченко О. С., Болдырев Е. Н. Коэффициенты участия водорода в горении и взрыве при ламинарной и турбулентной конвекции на горизонтальной пластине // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 26–30.
13. Годунов С. К., Забродин А. В., Иванов М. Я., Крайко А. Н. Численное решение многомерных задач газовой динамики. — М. : Наука, 1982. — 289 с.
14. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М. : Атомиздат, 1979. — 416 с.
15. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М. : Наука, 1968. — 720 с.
16. Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. — М. : Химия, 1990. — 496 с.
17. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. К. Г. Бомштейна; под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Малькова. — М. : Стройиздат, 1990. — 424 с.
18. Борисов Ю. С. Газотермические покрытия из порошковых материалов : справочник. — Киев : Наукова думка, 1987. — 314 с.

Материал поступил в редакцию 7 октября 2016 г.

Для цитирования: Пузач С. В., Лебедченко О. С. Расположение взрыво- и пожароопасных участков водородно-воздушной смеси по высоте конвективной колонки, образующейся над источником натекания водорода в помещение // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 18–24. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.18-24.

English

LOCATION OF EXPLOSION AND FIRE DANGEROUS AREAS OF THE HYDROGEN-AIR MIXTURE ALONG HEIGHT OF CONVECTIVE COLUMN FORMED OVER THE SOURCE OF HYDROGEN LEAKAGE IN THE ROOM

PUZACH S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: puzachsv@mail.ru)

LEBEDCHENKO O. S., Candidate of Juridical Sciences, Docent, Assistant Professor of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: ol-26@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. During leakage of hydrogen in the room convection column is formed over the source of leakage under the influence of buoyancy forces and the pressure drop between ones in the vessel with hydrogen and in the room. Ambient air is mixed with hydrogen unevenly along vertical axis of the column.

To determine the lengths of the column sections, falling on flammable and explosive dangerous hydrogen-air mixtures, it is necessary to calculate the concentration field. In general, this problem is highly unsteady and three-dimensional and requires a numerical solution of the original system of equations.

In this paper, we consider a model task of hydrogen concentration distribution in the area of the convective column formed over the source of leakage.

Materials and methods. There are used methods of gas dynamics and heat and mass transfer for calculating the parameters of the gas mixture during free convection.

Theory and calculation. A physics and mathematical model for calculating the distribution of average concentrations of hydrogen in the cross section along the height of the convective column during free convection is proposed.

The flow of the hydrogen-air mixture inside the convection column is considered as a steady, one-dimensional and isothermal one.

Air flow involving in the column is determined by using the half-angle of column expansion. In similar articles air flow is calculated using the empirical coefficient of flows mixing.

Results. The dependence between the half-angle of convective column and the Froude number is obtained from comparison the results received by using the proposed model with the experimental data presented in the literature.

There are presented the results of numerical experiments to determine the dependence between the heights of start and end points of the column falling on flammable and explosive hydrogen-air mixtures, and Reynolds number. The turbulent and laminar flow regimes at the exit of the hole through which hydrogen is supplied to the room are considered.

Discussion. In laminar and transitional flow conditions at the exit of the hole through which hydrogen is supplied to the room, the half-angle of the column and the dimensionless length of fire and explosive dangerous zones of the column substantially dependent on hydrogen flow rate and the equivalent diameter of the above mentioned hole.

In the case of turbulent regime above mentioned parameters practically does not depend on the Reynolds number.

Conclusions. In turbulent conditions the dimensionless sizes of fire and explosive dangerous zones and the half-angle of the convection column expansion are practically constant. For a more accurate assessment of the spread of hydrogen in the convection column it must take into account the three-dimensional non-stationary convection that occurs when leakage of hydrogen in the room takes place.

Keywords: hydrogen; hydrogen-air mixture; convective column; explosion dangerous area; fire dangerous area.

REFERENCES

1. Shevyakov G. G., Savelyeva N. I. Hydrogen jet propagation and burning in ambient air. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 2004, no. 1(9), pp. 23–27 (in Russian).
2. Domashenko A. M. Problems of explosion safety in the creation and operation of industrial storage and transportation of liquid hydrogen. Standards. In: *First World Congress "Alternative Energy and Ecology" (WCAEE)*, 2006, pp. 29–38 (in Russian).
3. Puzach S. V. Some features of formation of local combustible hydrogen-air mixtures during continuous release of hydrogen in a room. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2003, vol. 28, no. 9, pp. 1019–1026. DOI: 10.1016/s0360-3199(02)00165-9.
4. Gorev V. A. Flammability limits of premixed for hydrogen-air mixtures. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 12, pp. 23–26 (in Russian).
5. Agrawal N., Velusamy K., Das S. K. A method to characterize mixing and flammability of hydrogen-air mixtures in enclosures. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2011, vol. 36, no. 19, pp. 12607–12617. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.06.116.

6. Vollmer K. G., Ettner F., Sattelmayer T. Deflagration-to-detonation transition in hydrogen/air mixtures with a concentration gradient. *Combustion Science and Technology*, 2012, vol. 184, no. 10-11, pp. 1903–1915. DOI: 10.1080/00102202.2012.690652.
7. Rubtsov N. M., Seplyarskii B. S. Concentration limits of combustion in rich hydrogen-air mixtures in the presence of inhibitors. *Mendeleev Communications*, 2010, vol. 20, no. 5, pp. 296–298. DOI: 10.1016/j.mencom.2010.09.020.
8. Dorofeev S. B., Sidorov V. P., Dvoynishnikov A. E., Breitung W. Deflagration to detonation transition in large confined volume of lean hydrogen-air mixtures. *Combustion and Flame*, 1996, vol. 104, no. 1-2, pp. 95–110. DOI: 10.1016/0010-2180(95)00113-1.
9. Boeck L. R., Berger F. M., Hasslberger J., Sattelmayer T. Detonation propagation in hydrogen-air mixtures with transverse concentration gradients. *Shock Waves*, 2015, vol. 26, issue 2, pp. 181–192. DOI: 10.1007/s00193-015-0598-8.
10. *Set of rules 12.13130.2009. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 34 p. (in Russian).
11. Puzach S. V., Lebedchenko O. S., Vorobyev N. S. A model problem of determining the coefficients of participation of hydrogen in combustion and explosion. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 5, pp. 16–18 (in Russian).
12. Puzach S. V., Lebedchenko O. S., Boldyrev E. N. Coefficients of hydrogen combustion and explosion in case of laminar and turbulent convection on a horizontal plate. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 26–30 (in Russian).
13. Godunov S. K., Zabrodin A. V., Ivanov M. Ya., Krayko A. N. *Numerical solution of multi-dimensional tasks of gas dynamics*. Moscow, Nauka Publ., 1982. 289 p. (in Russian).
14. Kutateladze S. S. *Fundamentals of the theory of heat transfer*. Moscow, Atomizdat, 1979. 416 p. (in Russian).
15. Korn G., Korn T. *Mathematical handbook for scientists and engineers*. Moscow, Nauka Publ., 1968. 720 p. (in Russian).
16. Baratov A. N., Korolchenko A. Ya., Kravchuk G. N. et al. *Fire and explosion danger of substances and materials and means of their extinguishing*. Moscow, Khimiya Publ., 1990. 496 p. (in Russian).
17. Drayzdel D. D. *An introduction to fire dynamics*. Chichester, John Wiley and Sons, 1985 (Russ. ed.: Drayzdel D. D. *Vvedeniye v dinamiku pozharov*. Moscow, Stroyizdat, 1990. 424 p.)
18. Borisov Yu. S. *Thermal spray coating powder material. Handbook*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1987. 314 p. (in Russian).

For citation: Puzach S. V., Lebedchenko O. S. Location of explosion and fire dangerous areas of the hydrogen-air mixture along height of convective column formed over the source of hydrogen leakage in the room. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 18–24. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.18-24.

Ю. Д. МОТОРЫГИН, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: fire-risk@mail.ru)

И. О. ЛИТОВЧЕНКО, преподаватель-методист учебно-методического центра, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: litovchenkoio@mail.ru)

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

А. К. ЧЕРНЫХ, д-р техн. наук, профессор кафедры переподготовки и повышения квалификации специалистов, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: nataliachernykh@mail.ru)

УДК 519.876.2.614.841.48

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОТКРЫТЫХ АВТОСТОЯНКАХ

Проведена оценка эффективности принятия управленческих решений с использованием математических моделей возникновения и развития пожара на открытых автостоянках. Показано, что внутри открытых автостоянок пожарные расстояния не регламентируются, но от структурирования пожарной нагрузки, расстояния между автомобилями и группами автомобилей зависит развитие горения. Рассмотрены физические процессы развития горения автомобилей и распространения пожара на автостоянке. На основании анализа предложена математическая модель, позволяющая с использованием математического аппарата теории вероятности проанализировать условия, определяющие характер зажигания и распространение горения на автостоянке в зависимости от характеристики источника зажигания, пожарной нагрузки и окислителя. Предложена математическая модель оценки структурирования пожарной нагрузки на открытых автостоянках, позволяющая принимать эффективные управленческие решения при тушении на них пожаров.

Ключевые слова: стохастическое моделирование; автостоянка; пожар; перколяция; конечные цепи Маркова.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.25-31

Часто от принятия правильного и своевременного управленческого решения в условиях чрезвычайных ситуаций зависит эффективность спасательных работ и мер по локализации и ликвидации аварийных режимов. Для этого необходимо учитывать целый ряд факторов — от компетенции руководителя до уровня риска и технических характеристик объектов. В конечном счете эффективность принятия управленческого решения будет зависеть от информации, которой обладает руководитель на момент принятия решения.

Оценку эффективности принятия решения можно осуществить как с теоретической точки зрения (основанной на анализе ситуаций путем исследования результатов моделирования), используя математический подход для обоснования выбора альтернативных вариантов, так и с фактической (при этом

эффективность решения будет определяться результатами его реализации). Руководителю еще до момента принятия управленческого решения по ликвидации чрезвычайной ситуации желательно иметь максимально полную информацию о технических характеристиках объекта, на котором произошла аварийная ситуация. На оценку эффективности управленческих решений руководителя будут влиять различные показатели адекватности предложенных моделей, принятые законы, нормы и стандарты. При этом математическое моделирование является особым инструментом, с помощью которого руководитель может исследовать различные ситуации, возникающие на интересующем его объекте.

Рассмотрим оценку математических моделей принятия решений в социальных системах на примере чрезвычайных ситуаций, связанных с возник-

новением, развитием и тушением пожаров на открытых автостоянках.

К проблеме пожарной безопасности автостоянок в настоящее время относятся как к какому-то объекту (в виде черного ящика), от которого надо держаться подальше. Существующие нормативные документы [1–3] предназначены для обеспечения соблюдения требований к строительным, объемно-планировочным и конструктивным решениям по ограничению распространения пожара в зданиях и сооружениях и рассматривают автомобильные стоянки в качестве источника повышенной опасности, от которого следует “отгородиться” противопожарными расстояниями. Автостоянки по пожарной безопасности классифицируются по количеству машиномест: 10 и менее, 11–50, 51–100, 101–300, свыше 300. Внутри автостоянки расстояние между автомобилями определяется только разметкой и размерами открытых автомобильных дверей.

Одним из основных опасных факторов, влияющих на особенности распространения пожара, считается структурирование пожарной нагрузки. Структурирование горючей нагрузки зависит от расстояния между пожароопасными объектами. Противопожарные расстояния — это нормированные расстояния между объектами, обеспечивающие предотвращение распространения пожара между ними. Само определение “противопожарные расстояния” регламентирует безопасные расстояния между очагом пожара и пожароопасными объектами, т. е. расстояния, исключающие распространение пожара с места возникновения горения на окружающие горючие объекты. Основными факторами, влияющими на величину противопожарного разрыва между горючими объектами, являются [4–6]:

1) воздействие повышенной температуры (открытого огня) на пожарную нагрузку (этот фактор зависит от расстояния между очагом пожара и горючим материалом);

2) не полностью выгоревшие частицы продуктов пиролиза (искры), которые могут перемещаться на большие расстояния и способны поджечь горючие материалы (безопасное расстояние определяется конвективными потоками, размерами горящих частиц, природными условиями (ветер, влажность));

3) тепловой поток (тепловое электромагнитное излучение), возникающий в процессе теплообмена (известны характеристики теплового потока, позволяющие определить безопасное расстояние до многих горючих материалов).

Однако в настоящее время противопожарные расстояния для автотранспорта внутри автостоянки не нормируются [4]. Для зданий и сооружений различных классов функциональной пожарной опасности действует СП 4.13.130.2013 [3], но и в нем нет

утвержденной методики для расчета безопасных расстояний между автомобилями на открытой автомобильной стоянке, т. е. рассчитать противопожарные расстояния нельзя.

В настоящее время расчет площади открытой автомобильной стоянки F_x (м²) определяется следующим образом:

$$F_x = f_0 A_c K_{п.а.}$$

где f_0 — площадь, занимаемая автомобилем в плане (по габаритным размерам), м²;

A_c — количество автомобильных мест на стоянке;

$K_{п.а.}$ — коэффициент плотности расстановки автомобильных мест на стоянке.

Величина $K_{п.а.}$ зависит от способа расстановки мест на автостоянке и принимается равной 2,5–3,0.

Для примера на рис. 1 показан расчет размеров стандартной автостоянки [2, 3]. Существуют нормативы расстановки автомобилей на открытой автостоянке.

Ширина автостоянки $B_{тр}$ (м) определяется следующим образом:

$$B_{тр} = 2 \cdot 4,7 + B_{пр},$$

где $B_{пр}$ — ширина проезда, м;

$$B_{пр} = R_n + 0,7 - (OA^2 - OB^2)^{1/2};$$

R_n — внешний радиус поворота, м;

$$OA = R_b - 0,5 = 2,9;$$

$$OB = R_b - 0,5 = 2,6;$$

R_b — внутренний радиус поворота, м.

Исходя из того что $R_n = 5,9$ м, а $R_b = 3,1$ м, получаем $B_{пр} = 5,3$ м, а $B_{тр} = 14,71$ м.

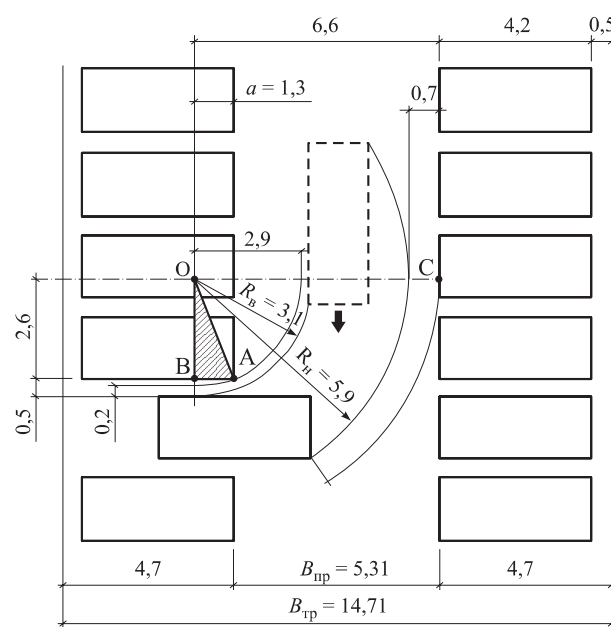


Рис. 1. Определение требуемых размеров стандартной автостоянки

В ряде работ [5–9] проводились натурные испытания противопожарных расстояний между автомобилями на открытом пространстве. Из исследований следует, что критическое расстояние между автомобилями составляет 1–2 м, безопасное расстояние между легковыми автомобилями — 3,5–4,5 м, грузовыми и автобусами — 7–8 м.

Существующие детерминированные модели пожаров на автостоянках (интегральные, зонные и полевые) принимают большое количество допущений, усреднений и приближений, чтобы с помощью дифференциальных уравнений приближенно описать процесс распространения пожара. Однако и моделирование пожаров на открытых автостоянках показывает, что безопасная зона вокруг горящего автомобиля должна быть не менее 4–5 м. На рис. 2 и 3 представлены фотография места происшествия и результаты моделирования, проведенного авторами в ходе экспертизы по пожару на автостоянке с использованием программы “FireSim” [10].

Из этого следует, что в настоящее время на автомобильных стоянках противопожарные расстояния между автомобилями не регламентируются. Однако анализ пожаров, экспериментальные исследования и математическое моделирование показывают, что они должны находиться в пределах от 4 до 7 м. Понятно, что в случае принятия таких нормативов размеры автомобильных стоянок увеличатся на порядок, что приведет к их нерентабельности.

Обеспечение пожарной безопасности на открытой автостоянке требует принятия решений, основанных, в первую очередь, на анализе связи развития процесса горения с характером структурирования пожарной нагрузки, так как ее расположение (заполнение автомобилями автостоянки) особенно сильно влияет на ход развития пожара. Для этого разберем физические закономерности развития пожара с помощью модельной решетки, покрывающей исследуемую область, рассматривая процесс распространения (протекания) пламени сквозь определенную среду [11–13].

Явление протекания процесса через среду (перколяция) применительно к развитию процесса горения определяется:

- средой, в которой наблюдается это явление (т. е. пожарной нагрузкой);
- источником зажигания, который обуславливает ход начального протекания в этой среде;
- способом протекания процесса в среде, который зависит от окислителя, поддерживающего горение (окислительно-восстановительной реакции).

Обычно [13–15] перколяционную модель рассматривают для решеточной системы, хотя она может быть применена к произвольным сетям, конечным и бесконечным графам и т. п.



Рис. 2. Место пожара на автомобильной автостоянке

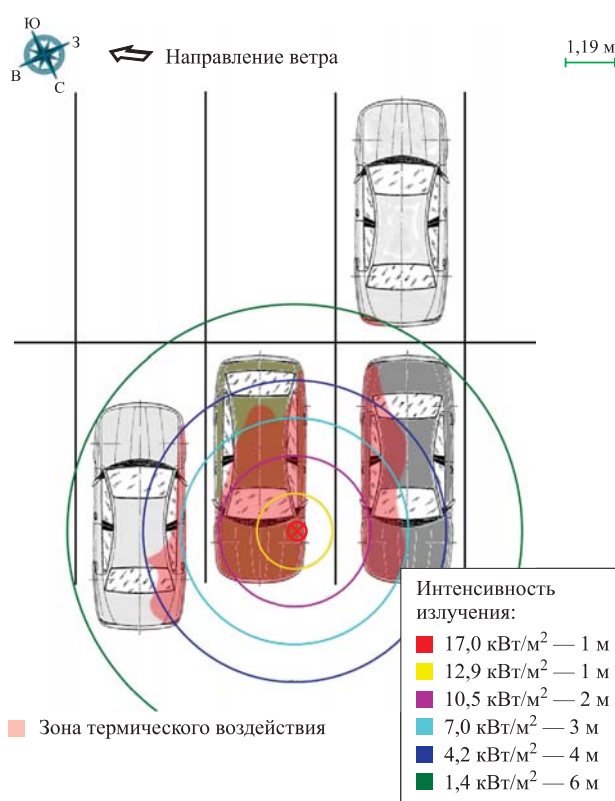


Рис. 3. Результаты моделирования ситуации на месте происшествия на автомобильной стоянке с помощью программы “FireSim”

При классическом подходе обычно рассматривают бесконечную квадратную решетку, узлы которой “заняты” независимо друг от друга некоторыми объектами с вероятностью $p < 1$. В роли таких объектов могут выступать картонные кубики, деревья, дачные домики, автомобили на стоянке, структурированная пожарная нагрузка и т. д. Доля незанятых (“пустых”) узлов решетки равна $(1 - p)$. Задача состоит в том, чтобы определить, существует ли непрерывный путь по занятым узлам от нижнего края решетки до верхнего. Под непрерывным понимает-

ся путь между двумя точками решетки, проходящий только через те занятые узлы, которые являются соседними по отношению друг к другу. (Соседями данного узла считаются узлы, расположенные в непосредственном соседстве от него к северу, югу, востоку или западу.) Если такой путь существует, то говорят, что решетка перколирует. Наименьшая плотность x занятых узлов, при которой бесконечная решетка перколирует, составляет критическую плотность или порог перколяции x_c . Для бесконечной квадратной решетки расчеты по методу Монте-Карло дают значение порога перколяции $x_c \approx 0,59275$.

При исследовании перколяции вводится понятие кластера, под которым понимается совокупность связанных узлов. Ими могут быть как удаленные (блокированные) узлы, так и узлы, участвующие в передаче процесса (в нашем случае огня). Если $x < x_c$, то в системе есть только кластеры из конечного числа узлов, поэтому развитие пожара будет локализовано и горение прекратится. При $x > x_c$ обязательно появятся узлы, принадлежащие бесконечному кластеру. Этот кластер обеспечит отличную от нуля и не зависящую от размеров системы удельную величину структурированной пожарной нагрузки, влияющей на распространение огня $\sigma(x)$.

Рассмотрим функцию $P(x)$ и отношение $\sigma(x)/\sigma(1)$, где $\sigma(1)$ — величина структурированной пожарной нагрузки, влияющей на распространение огня, при $x = 1$, т. е. при отсутствии блокированных узлов. Для конечной сетки любого размера обе функции обращаются в нуль в одной и той же точке, которая названа (для конечного кластера) порогом протекания, а при бесконечном увеличении сетки обозначает точку, где образуется бесконечный кластер (рис. 4).

Данный график иллюстрирует перколяцию не плоской сетки, а объемной (трехмерной) решетки. Для плоской решетки значение x_c было бы равно 0,5927.

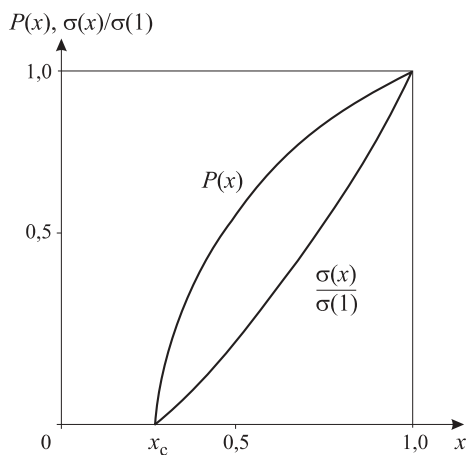


Рис. 4. Графики функций $P(x)$ и $\sigma(x)/\sigma(1)$ обращаются в нуль в одной точке $x = x_c$

В результате исследования перколяционных процессов [10, 15] были установлены эмпирические зависимости вида:

$$P_{\text{ск}}(x) = k(x - x_c)^{2\nu},$$

где $P_{\text{ск}}(x)$ — функция, представляющая собой долю узлов, принадлежащих скелету бесконечного кластера;

k — коэффициент пропорциональности;

ν — эмпирический коэффициент.

Приведенную зависимость можно представить в виде отношения:

- в двумерном случае

$$P_{\text{ск}}(x)/P(x) = k(x - x_c)^{\nu - \beta},$$

- в трехмерном случае

$$P_{\text{ск}}(x)/P(x) = k(x - x_c)^{2\nu - \beta},$$

где β — эмпирический коэффициент для зависимости $P(x)$.

При исследовании проводимости двумерных и трехмерных сеток с блокированными узлами экспериментально найдено, что удельная величина структурированной пожарной нагрузки, влияющей на распространение огня, подчиняется закону:

$$\sigma(x) = \sigma_0(x - x_0)^t,$$

где σ — множитель, равный удельной величине структурированной пожарной нагрузки, влияющей на распространение огня, при отсутствии блокированных узлов;

t — критический индекс величины σ ; для двумерных сеток $t = 1,3$, для трехмерных — $t = 1,6 \div 1,7$.

Рассмотренные в уравнениях индексы P , ν , β , t описывают критическое поведение различных величин в окрестности порога протекания. Для каждого из индексов существует, по крайней мере, два значения — для двумерной и трехмерной задач. Согласно современным представлениям критические индексы для всех задач в пространстве с одной размерностью одинаковы.

Постоянство критических индексов связано с тем, что они определяются структурой кластеров в окрестности порога протекания. Основную роль в этом случае играют геометрические свойства кластеров, проявляющиеся на расстояниях, значительных по сравнению с размерами элементарной ячейки, поэтому геометрия кластеров не зависит от того, на какой решетке задана задача. Задача может быть задана вообще на узлах, расположенных в пространстве случайным образом, и это не повлияет на значения критических индексов. Однако размерность пространства сильно сказывается на геометрии кластеров. По этим причинам критические индексы не зависят от типа задачи, но зависят от размерности пространства.

В бесконечной системе порог перколяции является однозначно определяемым значением, причем

оно не зависит от случайной последовательности блокированных узлов, получаемых при исследовании объекта. В конечной системе (кроме одномерной решетки) четкого порога перколяции не существует, а на решетчатых моделях возникают критические области с определенными параметрами, в которые попадают значения x_c , полученные в большинстве экспериментов с различными решетками и разными случайными последовательностями. С увеличением размеров системы границы этой области сужаются.

Кроме определения порога перколяции, в настоящее время [11–15] разработан математический аппарат для вычисления параметров, приведенных в таблице.

Процессы перколяции на стандартных решетках достаточно удобно рассчитывать с помощью стандартных математических алгоритмов. Однако в реальных условиях пожарная нагрузка распределена неравномерно и обладает различной способностью к горению. Для оценки эффективности принятия решений по повышению пожарной безопасности на открытых автостоянках предлагается при пересечении автомобилями шлагбаума фиксировать их количество (что на современных автостоянках делается автоматически). Это позволит получать информацию о количестве автомобилей в любой момент времени, а значит знать, превышен ли порог перколяции. Таким образом, теория перколяции дает возможность связать очень большое количество объектов при условии, что связь каждого объекта со своими соседями носит случайный характер, но при этом задается вполне определенным способом (фик-

Перколяционные параметры среды, возникающие в рассматриваемом объекте до достижения порога перколяции

Параметр	Формула
Среднее число кластеров размером s	$\langle N_s \rangle$, где N — полное число ячеек
Распределение кластеров по размерам	$n_s(p) = \langle N_s \rangle / N$
Количество занятых ячеек, принадлежащих кластерам размером s	$sn_s(p)$
Полное число занятых ячеек	$\sum_s sn_s(p)$
Вероятность того, что случайно выбранный занятый узел принадлежит кластеру размером s	$w_s = \frac{sn_s(p)}{\sum_s sn_s(p)}$
Средний размер кластера S	$S = \sum_s s w_s = \frac{\sum_s s^2 n_s(p)}{\sum_s sn_s(p)}$

сированное количество автомобилей на автостоянке может зависеть от погодных, временных и социальных факторов).

Правильной оценке обстановки при принятии решений в реальных чрезвычайных ситуациях и выполнению соответствующих действий, сопровождаемых высоким уровнем интеллектуального и эмоционального напряжения, повышению пожарной безопасности на открытых автостоянках должны способствовать результаты моделирования с помощью перколяционной модели структурирования пожарной нагрузки (автомобилей).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 08.11.2016).
2. СП 113.13330.2012. Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99* (с изм. № 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200092706> (дата обращения: 08.11.2016).
3. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (дата обращения: 08.11.2016).
4. Корольченко Д. А., Холицевников В. В. Дифференциация концепции системного подхода к анализу городской среды // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 44–51. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.44-51.
5. Зайцев В. В. Противопожарные расстояния между автотранспортными средствами на открытых пространствах // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 3. — С. 50–54.
6. Исхаков Х. И., Колесников В. В. Теоретическое обоснование теплостойкости лакокрасочного покрытия пожарного автомобиля // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2010. — № 2. — С. 40–46.
7. Орлов О. И., Вогман Л. П., Горшков В. И., Костерин И. В. Способ ограничения распространения пожара между автомобилями в закрытых автостоянках // Пожарная безопасность. — 2013. — № 4. — С. 54–62.
8. Osvaldová L. M., Svetlík J. Fire of personal motor vehicle // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza (Safety & Fire Technique). — 2012. — Vol. 26. — P. 21–26.

9. Gerard V. Best in the business: corrections officials rescue crash victims from burning car // Corrections Today. — 2003. — Vol. 65, No. 3. — P. 53.
10. Программа “FireSim”. Руководство пользователя. — СПб. : Риски-ПО, 2012. — 65 с.
11. Галишев М. А., Моторыгин Ю. Д. Стохастические методы принятия решений для уменьшения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций // Проблемы управления рисками в техно-сфере : научно-аналитический журнал. — 2013. — № 4(28). — С. 59–64.
12. Мирясов Е. Ю., Амамбаев М. Т., Моторыгин Ю. Д. Перколяционная модель описания процессов развития чрезвычайных ситуаций // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2013. — № 3. — С. 74–81.
13. Broadbent S. R., Hammersley J. M. Percolation processes. 1. Crystals and mazes // Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. — 1957. — Vol. 53, Issue 3. — P. 629–641. DOI: 10.1017/s0305004100032680.
14. Эфрос А. Л. Физика и геометрия беспорядка. — М. : Наука, 1982. — 176 с.
15. Тарасевич Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы : учебное пособие. — М. : Едиториал УРСС, 2002. — 112 с.

Материал поступил в редакцию 19 ноября 2016 г.

Для цитирования: Моторыгин Ю. Д., Литовченко И. О., Максимов А. В., Черных А. К. Оценка эффективности принятия решений по повышению пожарной безопасности на открытых автостоянках // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 25–31. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.25-31.

English

DECISION MAKING EFFICIENCY EVALUATION ON INCREASE IN FIRE SAFETY ON OPEN CAR PARKS

MOTORYGIN Yu. D., Doctor of Technical Sciences, Professor of Criminalistics and Technical Engineering Enquiry Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: fire-risk@mail.ru)

LITOVCHENKO I. O., Lecture-Metodist, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: litovchenkoio@mail.ru)

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

CHERNYKH A. K., Doctor of Technical Sciences, Professor of Retraining and Advanced Training Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: nataliachernykh@mail.ru)

ABSTRACT

The efficiency evaluation of acceptance of management decisions in case of the emergency situation connected with the fire is carried out. In the course of acceptance of management decisions the large role is played by information on the correct development evaluations of the fire. In article it is shown that in open car parks fire distances aren't regulated. However, from structuring fire loading, distance between cars and groups of cars, burning development will depend.

Structuring fire loading is considered one of the major dangerous factors influencing features of distribution of the fire. Structuring combustible loading depends on distance between fire-dangerous objects. Fire-proof distances are the rated distances between objects regulated for prevention of distribution of the fire between them. Determination “fire – proof distances” regulates safe distances between the seat of fire and fire-dangerous objects. This distance excludes distribution of the fire from the place of emergence of burning on surrounding combustible objects with use of mathematical models of origin and development of the fire on open car parks.

In work physical processes of emergence of burning of cars and distribution of the fire on car park are considered. Based on the carried-out analysis the mathematical model allowing is offered, using a mathematical apparatus of probability theory, to analyse the conditions determining nature of ignition and distribution of burning on car park depending on the characteristic of a source of ignition, fire loading and an oxidizer. The parking is considered as the model lattice covering the researched area. At the same time, burning is considered as process of distribution (course) of a flame through a certain environment. The theory of a percolation allows connecting very large number of objects provided that communication of each object with the neighbors has accidental character, but at the same time is set by quite certain method (the fixed number of cars on car park can depend on weather, temporary and social data).

The mathematical model of assessment of structuring fire loading on open car parks allowing to make effective management decision in case of fire extinguishing on open car parks is offered.

Keywords: stochastic modeling; parking; fire; percolation; final chains of Markov.

REFERENCES

1. *Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016).* Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 8 November 2016) (in Russian).
2. *Set of rules 113.13330.2012. Parkings. The updated edition of SNiP 21-02-99*.* Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200092706> (Accessed 8 November 2016) (in Russian).
3. *Set of rules 4.13130.2013. Systems of fire protection. Restriction of fire spread at object of defense. Requirements to special layout and structural decisions.* Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (Accessed 8 November 2016) (in Russian).
4. Korolchenko D. A., Kholshchevnikov V. V. Differentiation of the concept of system approach to the urban environment analysis. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 44–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.44-51.
5. Zaytsev V. V. Fire-prevention distances between vehicles on open spaces. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 3, pp. 50–54 (in Russian).
6. Iskhakov H. I., Kolesnikov V. V. The theoretical rationale of heat-resistance of the lacquer coating of the fire engine. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya (Fires and Emergencies: Prevention, Elimination)*, 2010, no. 2, pp. 40–46 (in Russian).
7. Orlov O. I., Vogman L. P., Gorshkov V. I., Kosterin I. V. Method for limiting the fire spread between cars in closed car parks. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2013, no. 4, pp. 54–62 (in Russian).
8. Osvaldová L. M., Svetlík J. Fire of personal motor vehicle. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza (Safety & Fire Technique)*, 2012, vol. 26, pp. 21–26.
9. Gerard V. Best in the business: corrections officials rescue crash victims from burning car. *Corrections Today*, 2003, vol. 65, no. 3, p. 53.
10. *FireSim program. User's guide.* Saint Petersburg, Riski-PO Publ., 2012. 65 p. (in Russian).
11. Galishev M. A., Motorygin Yu. D. Stochastic methods of decision-making for decrease probability of emergencies. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. Nauchno-analiticheskiy zhurnal (Problems of Technosphere Risk Management. Scientifically-Analytical Magazine)*, 2013, no. 4(28), pp. 59–64 (in Russian).
12. Miryasov E. Yu., Amanbaev M. T., Motorygin Yu. D. Percolation model of the description of emergency situations developments. *Vestnik Sankt-Petersburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii (Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia)*, 2013, no. 3, pp. 74–81 (in Russian).
13. Broadbent S. R., Hammersley J. M. Percolation processes. 1. Crystals and mazes. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 1957, vol. 53, issue 3, pp. 629–641. DOI: 10.1017/s0305004100032680.
14. Efros A. L. *Physics and geometry of a disorder.* Moscow, Nauka Publ., 1982. 176 p. (in Russian).
15. Tarasevich Yu. Yu. *Percolation: theory, applications, algorithms.* Moscow, Editorial URSS Publ., 2002. 112 p. (in Russian).

For citation: Motorygin Yu. D., Litovchenko I. O., Maksimov A. V., Chernykh A. K. Decision making efficiency evaluation on increase in fire safety on open car parks. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 25–31. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.25-31.

С. В. ГУДИН, адъюнкт кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: sergey.gudin@firerisks.ru)

Р. Ш. ХАБИБУЛИН, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: kh-r@yandex.ru)

Д. Н. РУБЦОВ, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: aiaks@mail.ru)

В. В. РУБЦОВ, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: aubez@mail.ru)

УДК 614.849

ОЦЕНКА РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА НА ТЕРРИТОРИИ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Представлено описание технологического процесса типовой газораспределительной станции и особенности ее пожарной опасности. На базе информационной системы “FireRisks” построены деревья развития пожароопасных ситуаций; определены условные вероятности последующих событий, приводящих к возникновению пожара. Рассчитаны значения опасных факторов пожара в зависимости от расстояния; показана динамика их развития. Определены расчетные величины пожарных рисков на территории газораспределительной станции. Сделаны выводы о возможности использования информационной системы для дальнейшего исследования методов интеллектуальной поддержки принятия решений на объектах нефтепереработки.

Ключевые слова: газораспределительная станция; пожарный риск; информационная система; опасные факторы пожара; пожароопасные ситуации.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.32-42

Законодательством установлено, что одним из оснований для проведения расчетов пожарного риска является выполнение не в полном объеме требований пожарной безопасности, установленных нормативными документами [1]. Кроме того, как правило, многие отступления от требований пожарной безопасности на производственных объектах продиктованы вынужденными сокращениями противопожарных расстояний от наружных технологических установок до граничащих с ними объектов защиты. Эксплуатация таких объектов защиты при сокращении противопожарных расстояний в некоторых случаях возможна при применении противопожарных преград, однако эта возможность должна быть подтверждена расчетом пожарного риска [1].

Методика оценки пожарных рисков [2] распространяется на большое количество объектов и производств, связанных с обращением пожароопасных веществ [3–6]. При этом большинство современных систем оценки расчетных величин пожарных рисков не обладают единой базой статистических данных по типовым технологическим аппаратам, веществам и пожароопасным сценариям, что, в свою очередь, влияет на качество расчета. Расчетные величины пожарных рисков напрямую влияют на при-

нимаемые управленческие решения, связанные с обеспечением пожарной безопасности [7], поэтому важно при выполнении оценки величин пожарных рисков на всех этапах использовать единое программное обеспечение. Устранить ошибки, которые могут возникнуть в процессе ввода ряда исходных данных, являющихся справочными величинами (например, пожаровзрывоопасные свойства веществ и материалов, климатические параметры), можно с помощью модуля справочных данных.

Ранее, в публикации [8], был проведен анализ существующих программных продуктов в области расчета пожарных рисков, определены их недостатки, сформулированы предложения по развитию подобных программных систем. В результате настоящей работы создана информационная система (ИС) “FireRisks” — веб-ориентированная платформа для управления пожарными рисками на объектах с использованием различных методов и алгоритмов поддержки принятия решений. Разработанная система позволяет проводить моделирование с учетом “принципа домино”. В следующих работах планируется учесть каскадное развитие пожара, так как это требует дополнительного исследования. Структура разработанной ИС представлена на рис. 1.

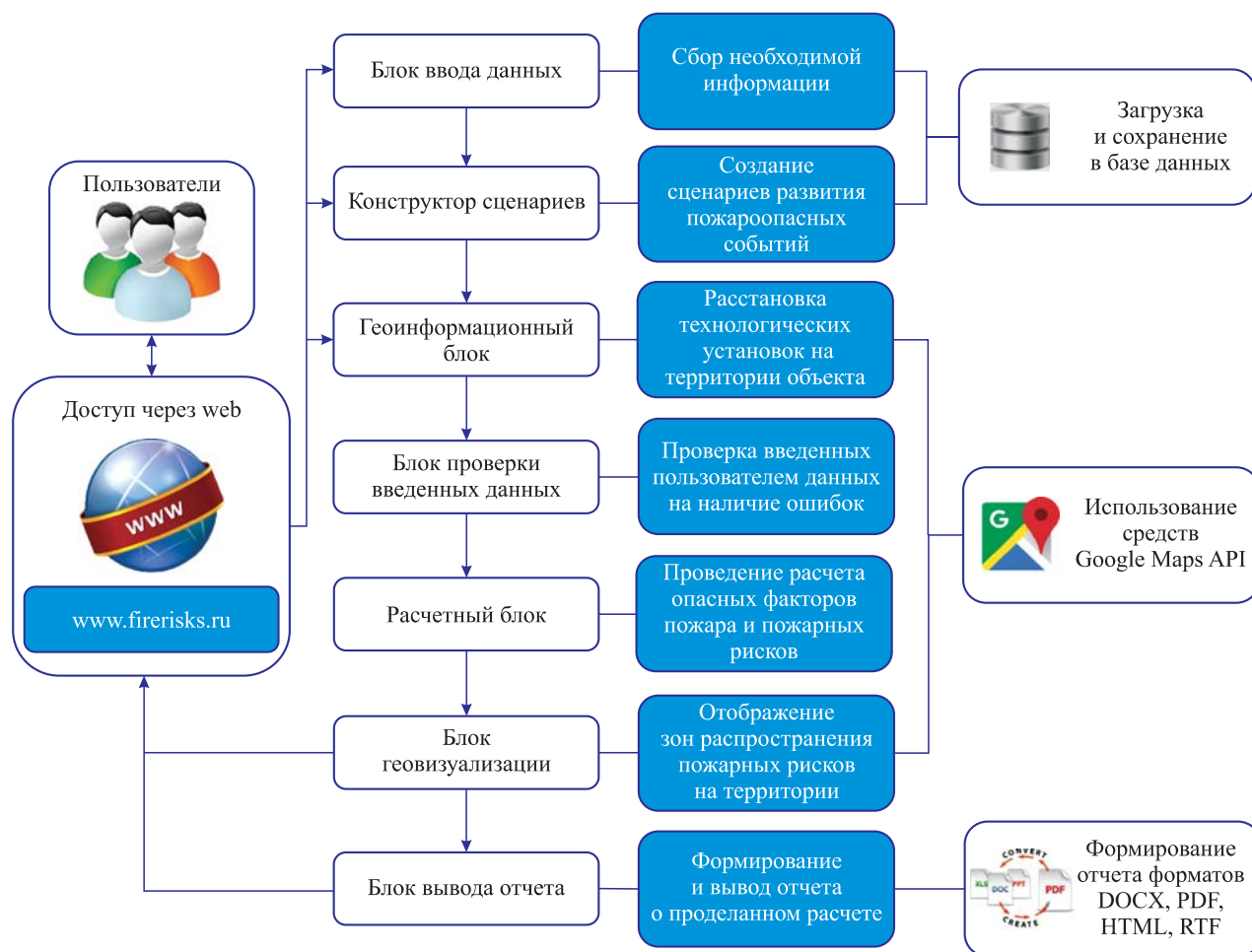


Рис. 1. Структура информационной системы “FireRisks”

Для оценки эффективности ИС “FireRisks” поставлена задача провести ее апробацию, основанную на пробном расчетном тестировании.

В качестве производственного объекта, на котором выполняется пробное расчетное тестирование, рассматривается проект условной газораспределительной станции (ГРС).

Состав и содержание расчетных обоснований величины пожарного риска базируются на положениях [1, 2, 9, 10]. Согласно указанным выше положениям для расчета пожарного риска необходимо провести:

- анализ пожарной опасности объекта защиты;
- моделирование различных пожароопасных аварийных ситуаций на основе построения логических деревьев событий;
- количественную оценку параметров опасных факторов пожара (ОФП) при реализации сформулированных пожароопасных аварийных ситуаций;
- оценку пожарных рисков на основе вероятностного подхода.

Основой анализа пожарной опасности объекта защиты при расчете пожарного риска является сопоставление пожаровзрывоопасных свойств технологической среды с рабочими параметрами тех-

нологического процесса; определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций для каждого технологического процесса и построение сценариев возникновения и развития пожаров.

Характеристика объекта защиты

Основными технологическими операциями, осуществляемыми на ГРС, являются прием, хранение, перекачивание и отгрузка сжиженных углеводородных газов (СУГ). В состав ГРС входят следующие основные наружные технологические установки, здания и сооружения:

- резервуарный парк СУГ, состоящий из резервуаров горизонтальных стальных (РГС) вместимостью от 50 до 100 м³;
- сепаратор;
- автомобильная и железнодорожная сливноналивная эстакада СУГ;
- административно-бытовой комплекс (АБК) и операторные.

Все резервуары и сливноналивная автомобильная эстакада имеют повышенную взрывопожароопасную категорию АН [11].

Основная масса СУГ обращается в РГС, авто- и железнодорожных цистернах и сепараторе. В технологическом процессе на типовой ГРС обращаются следующие фракции СУГ: пропановая фракция (ППФ); пропан технический; изобутановая фракция; бутан-бутиленовая фракция (ББФ); бутановая фракция.

Технологический процесс на ГРС можно кратко разделить на следующие стадии. ППФ и пропилен поступают в железнодорожных цистернах на сливно-наливную эстакаду и сливаются в РГС. По окончании приема компонентов СУГ и их отстоя проводится дренирование подтоварной воды в производственную канализацию. Далее в соответствии с технологическим регламентом осуществляется процесс приготовления сжиженного газа — закачка компонентов в нижнюю часть емкости, их смешение, отстаивание, дренирование подтоварной воды, компаундирование (смешение), отбор проб для проверки на соответствие стандартам, перекачка в резервуары.

Отгрузка СУГ проводится путем налива в железнодорожные и автоцистерны (АЦ), а также транспортировкой по трубопроводу. СУГ на сливноналивной автомобильной эстакаде подается в АЦ по специальным шлангам. Избыток СУГ, подаваемого на авторампу, по трубопроводам сбрасывается обратно в емкости. Улавливаемые при заправке машин пары СУГ подаются в уравнительную линию емкостей или на факельную линию ГРС.

Перечень технологических объектов на ГРС, которые вносят вклад в формирование расчетной величины пожарного риска, достаточно велик. Согласно [2] рассматриваются пожароопасные ситуации на основном и вспомогательном технологическом оборудовании. Кроме того, при анализе пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, рассматриваются утечки при различных диаметрах истечения. Выполнение этих требований приводит к тому, что инженер сталкивается со значительным количеством расчетных операций, которые влияют на скорость и качество выполнения количественного анализа пожарного риска. Необходимо учесть, что при необходимости внесения изменений в общую систему обеспечения пожарной безопасности ГРС при принятии управленческого решения проработанный ранее расчетный массив подлежит переработке.

Основным фактором пожарной опасности является то, что на ГРС сосредоточено значительное количество СУГ, находящегося под давлением. Частичная или полная разгерметизация технологических аппаратов может привести к выходу СУГ в окружающее пространство и образованию локальных и масштабных зон со взрывоопасными концентрациями (ВОК), которые, в свою очередь, могут стать источником воспламенения и каскадного развития

Таблица 1. Показатели пожаровзрывоопасности пропана

Параметр	Значение параметра
Молекулярная масса, у. е.	44,1
Плотность (жидкой фазы), кг/м ³	500,5
Плотность (паровой фазы), кг/м ³	1,56
Температура кипения, °С	–42,6
Температура вспышки, °С	–96
Температура самовоспламенения, °С	470
Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), % (об.)	2,3
Верхний концентрационный предел распространения пламени (ВКПР), % (об.)	9,4
Константы уравнения Антуана:	
А	5,95547
В	813,864
С	248,116
Нормальная скорость распространения пламени, м/с	0,32
Минимальное взрывоопасное содержание кислорода, % (об.) (флегматизатор N ₂)	11,6
Безопасный экспериментальный максимальный зазор, мм	0,92

пожара [12]. Необходимо отметить, что аварийные выбросы СУГ могут носить характер вскипающей жидкости, так как давление, под которым находятся хранящиеся и транспортируемые СУГ, существенно превышает давление насыщенных паров. Это также повышает пожарную опасность за счет резкого увеличения геометрических размеров зон со взрывоопасными концентрациями.

Чтобы определиться с пожароопасными аварийными ситуациями, необходимо рассмотреть особенности пожарной опасности газового оборудования с СУГ и оценить возможности возникновения взрывоопасных концентраций. Для этого необходимо владеть сведениями о пожаровзрывоопасных свойствах СУГ, обращающегося в технологическом процессе.

В целом пожаровзрывоопасные показатели СУГ не имеют существенных различий. В табл. 1 в качестве примера приведены пожаровзрывоопасные свойства пропана, как вещества с повышенными показателями пожарной опасности [13].

Определение частоты реализации пожароопасных аварийных ситуаций

При построении логической схемы развития пожароопасных аварийных ситуаций руководствовались методом построения логических деревьев событий [2].

При разработке сценариев возникновения и развития аварийных ситуаций с участием СУГ учитывались следующие особенности:

- при разгерметизации технологического оборудования возможен выход как жидкой, так и газовой фазы СУГ;
- воспламенение паровоздушного облака может привести к образованию ударной волны, способной разрушать окружающие объекты;
- рассматривается взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости (BLEVE) с образованием “огненного шара”, так как при пожаре на ГРС в очаг пожара могут попасть технологические аппараты с СУГ;
- в каждой из рассматриваемых пожароопасных ситуаций в итоге может быть реализовано: горение факела, пожар пролива, пожар-вспышка; сгорание паровоздушного облака с образованием избыточного давления взрыва, “огненный шар”.

При возникновении пожароопасных аварийных ситуаций делаем допущение на реализацию следующих условий: наличие штиля, неэффективная работа водяных или паровых завес, воспламенение облака ВОК с задержкой.

При квазимгновенном разрушении резервуара или цистерны эффективная работа водяных завес, препятствующих распространению газовой воздушной облака, невозможна, поэтому в данном случае вероятность их эффективной работы принимается равной нулю.

Сценарий, связанный с возникновением “огненного шара”, реализуется в результате воздействия очага пожара на резервуар при отказе систем водяного орошения, а также в случае квазимгновенного разрушения резервуара (цистерны) при условии мгновенного воспламенения.

При расчете величины пожарного риска учитываются все размеры утечек на технологическом оборудовании, указанные в [2, 10]. С учетом этого для перечисленных ранее технологических аппаратов (РГС вместимостью 50 м³ (РГС 50), 100 м³ (РГС 100), АЦ, железнодорожная цистерна, сепаратор) в информационной системе формируются 94 логических дерева событий, охватывающие все возможные сценарии развития аварий.

Частота реализации каждого сценария определяется как произведение частоты возникновения инициирующего события и условной вероятности развития аварийной ситуации по конкретному сценарию. Таким образом, рассматриваются типы сценариев, представленные на рис. 2.

На рис. 3–5 приведены примеры логических деревьев событий развития пожароопасных аварийных ситуаций на РГС 100 (где Q — условная вероятность; Q_d — частота реализации сценария).

В расчетах приняты частоты реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий и услов-

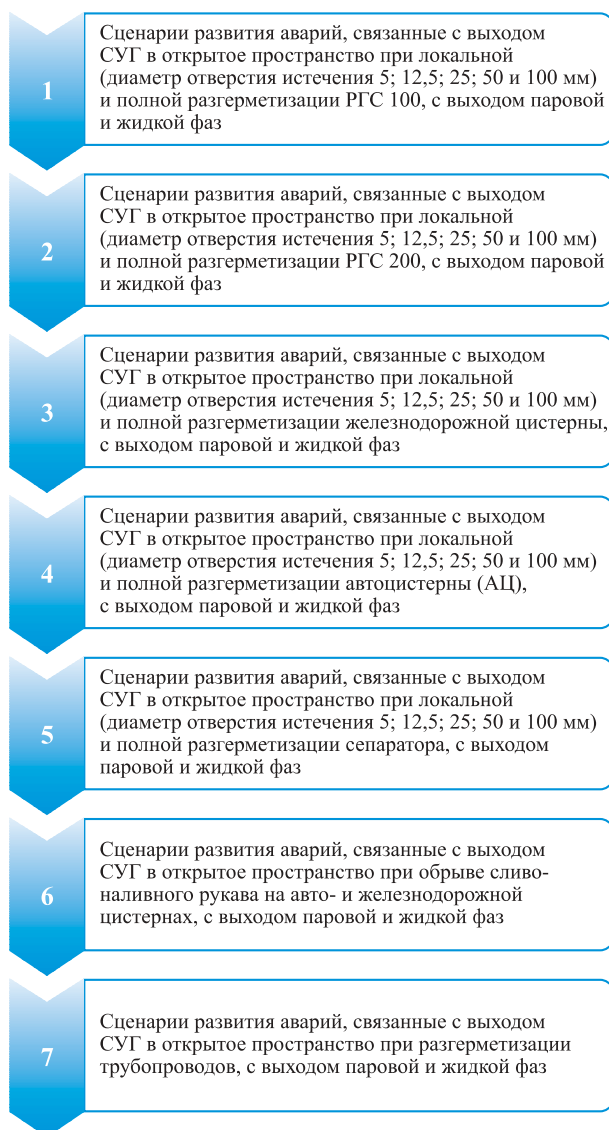


Рис. 2. Рассматриваемые типы сценариев

ные вероятности, указанные в логических деревьях событий, в соответствии с [2].

Для 94 логических деревьев событий разрабатывается 322 сценария. Для каждого из них определяется своя условная вероятность.

Ожидаемые последствия от опасных факторов пожара

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара (взрыва) на людей осуществляется на основе сопоставления информации о моделировании динамики ОФП на территории объекта и прилегающей к нему территории. Расчетный модуль ИС “FireRisks” учитывает все математические зависимости, определяющие количественные значения параметров ОФП и условные вероятности поражения человека. Расчетное определение размеров зон теплового излучения пожара пролива СУГ проводили в соответствии с методикой, описанной в [2, 10].

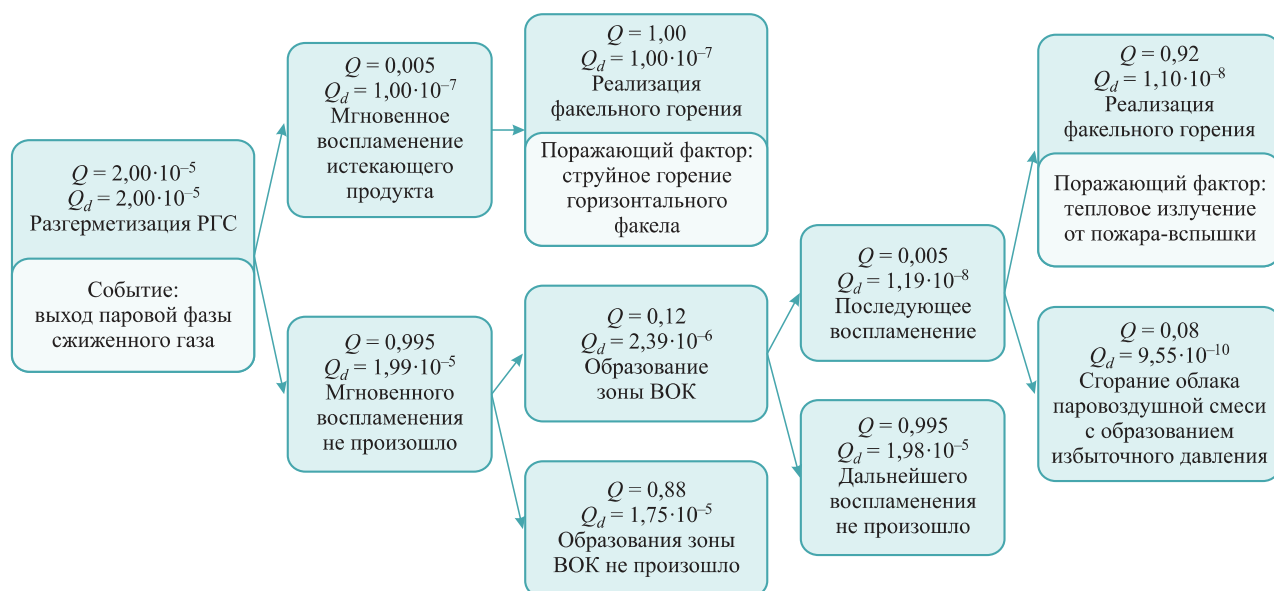


Рис. 3. Логическое дерево событий, связанное с разгерметизацией РГС 100, при диаметре отверстия истечения паровой фазы 5 мм

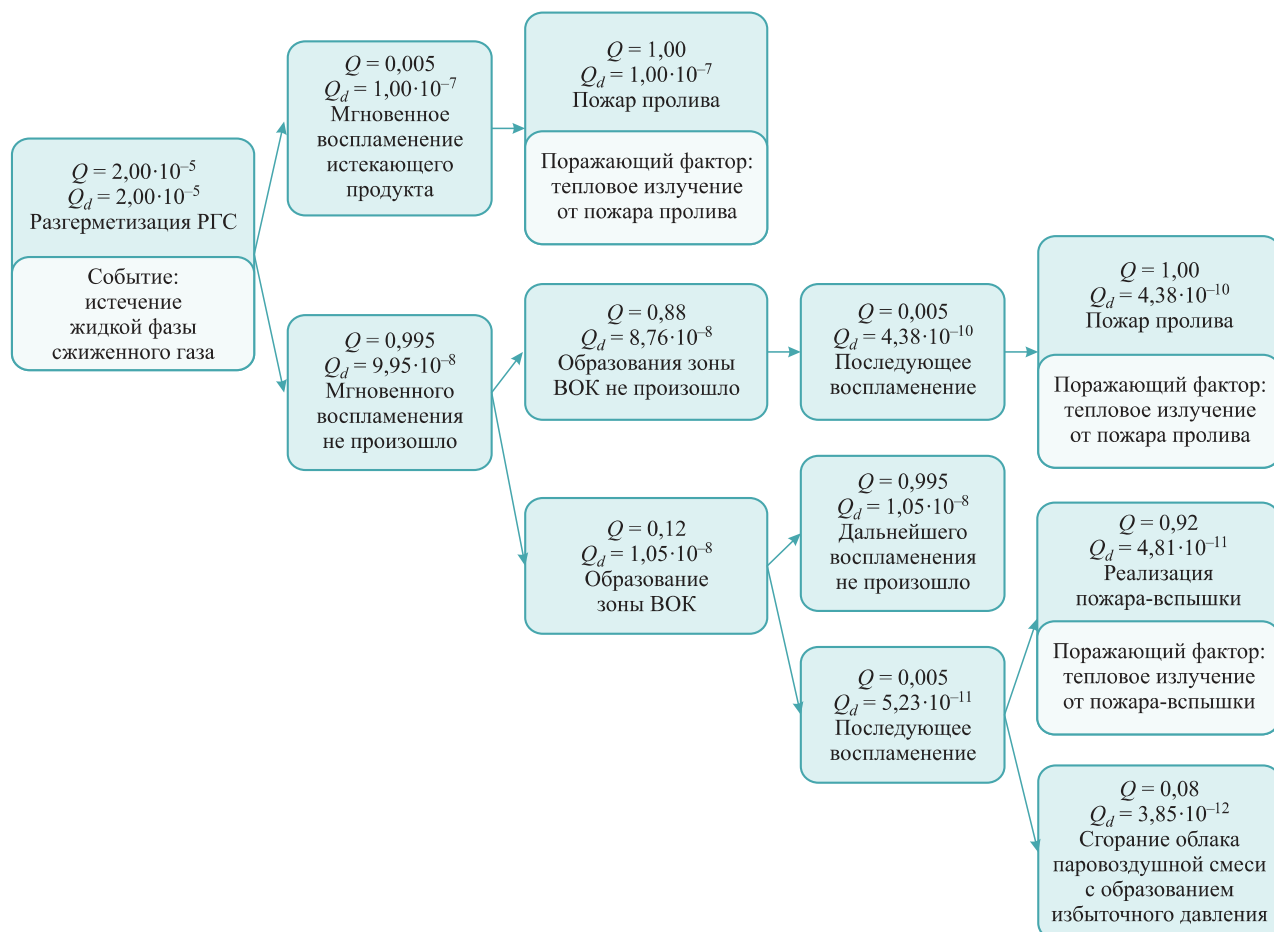


Рис. 4. Логическое дерево событий, связанное с разгерметизацией РГС 100, при диаметре отверстия истечения жидкой фазы 5 мм

Расчетный модуль позволяет оценивать опасные факторы пожара для всех 322 сценариев и определять значения их характеристик на различных расстояниях от места возникновения ОФП. Примеры

графиков представлены на рис. 6 и 7 (при массе пролива 65115,05 кг).

Зависимость потенциального пожарного риска от расстояния представлена на рис. 8.

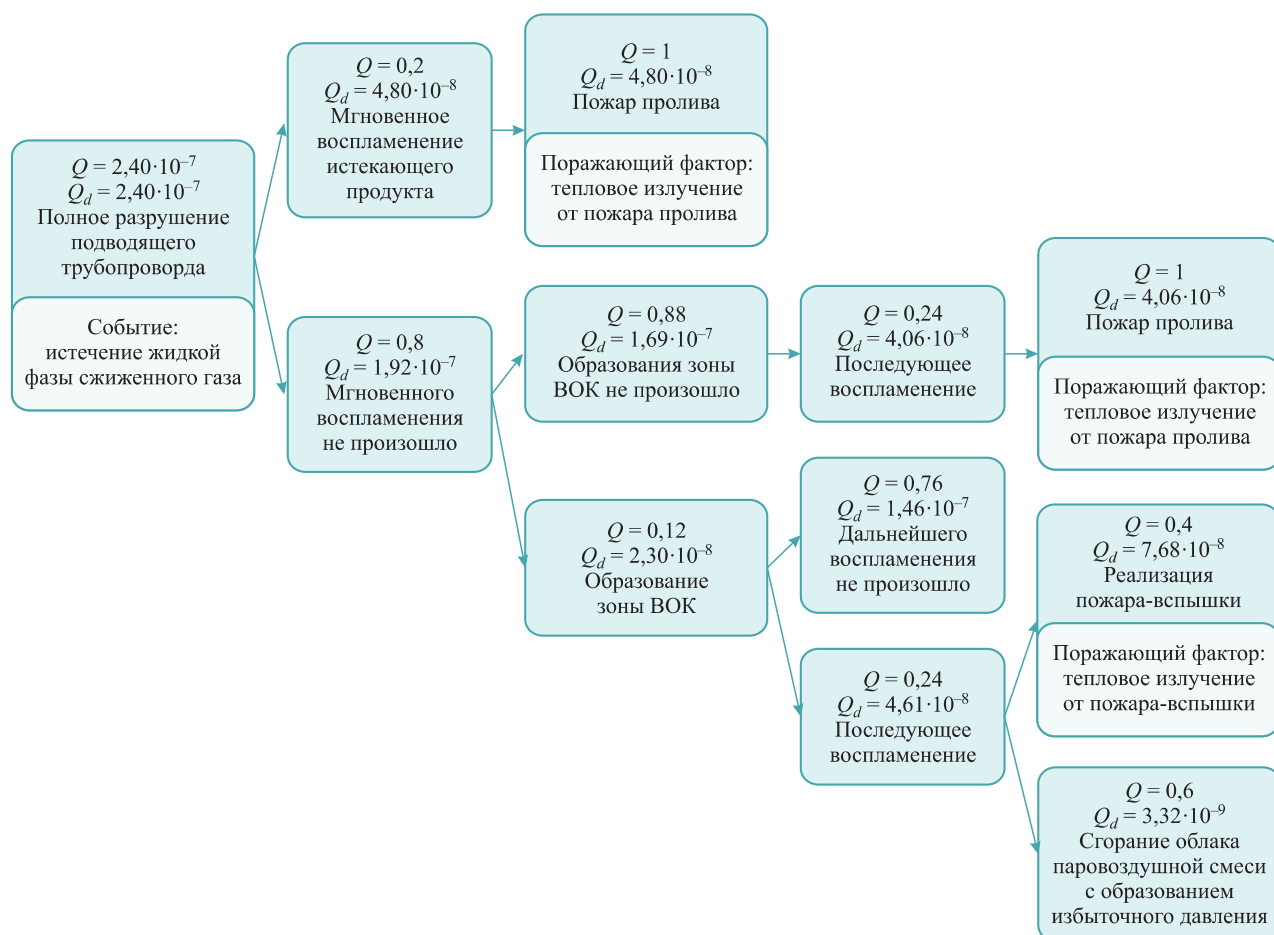


Рис. 5. Логическое дерево событий, связанное с полным разрушением подводящего трубопровода к РГС 100

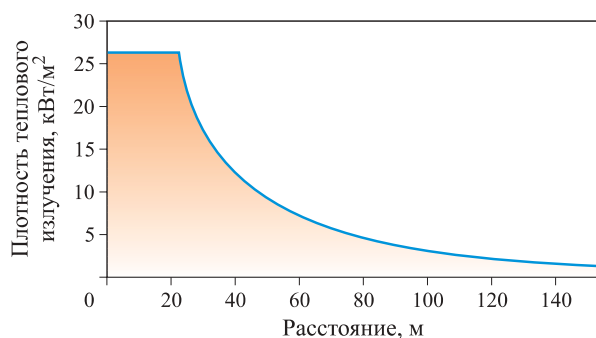


Рис. 6. Зависимость плотности теплового излучения при пожаре проливе на РГС 100 от расстояния

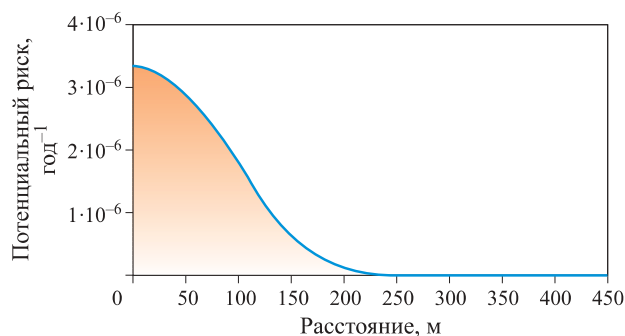


Рис. 8. Зависимость потенциального риска для объекта РГС 100 от расстояния

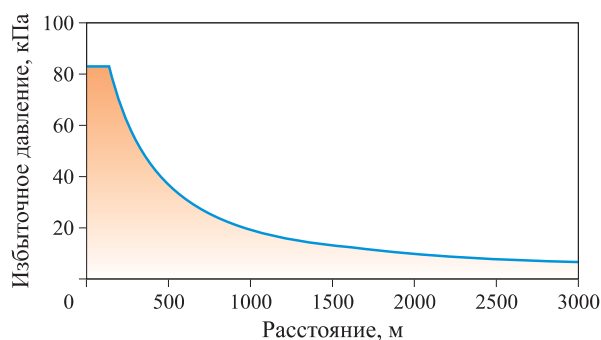


Рис. 7. Зависимость избыточного давления взрыва при разрушении РГС 100 от расстояния

Определение расчетных величин пожарных рисков

Нормативные значения пожарного риска на производственных объектах в количественном выражении определяются в [1]. Величина индивидуального пожарного риска для работников в зданиях, сооружениях и строениях на территории производственных объектов не должна превышать $1 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

Определение условной вероятности поражения людей в расчетном модуле определяется с помощью пробит-функции по установленным расчетным формулам.

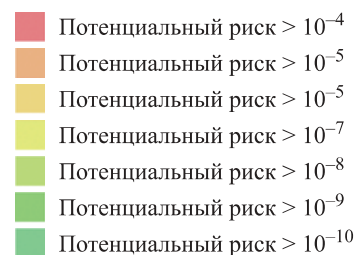
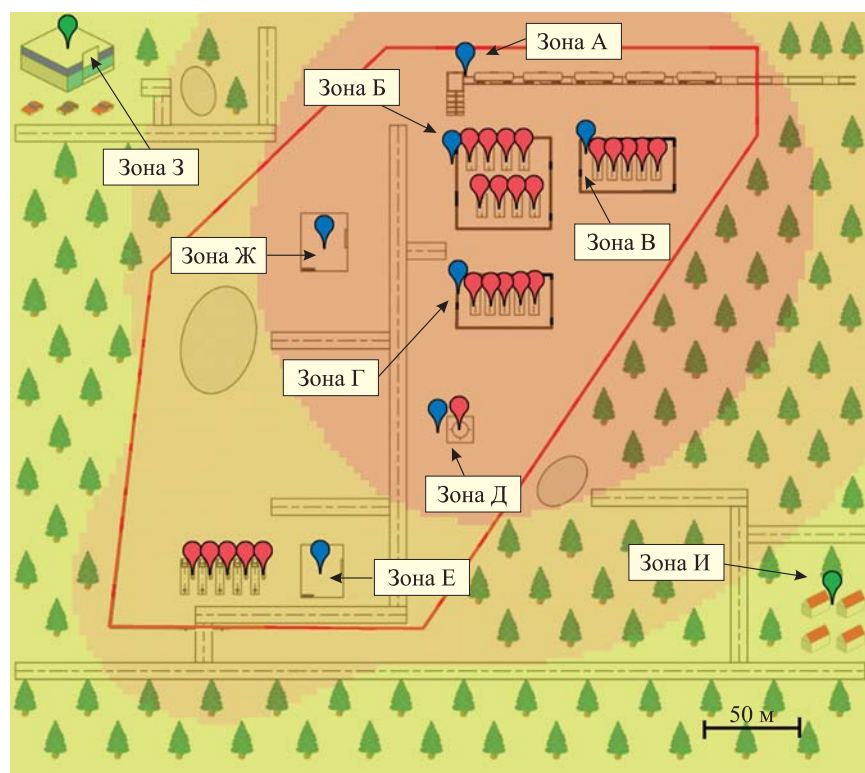


Рис. 9. Зоны распространения потенциального пожарного риска на территории ГРС и прилегающей селитебной территории: — здания предприятий; — технологические установки; — селитебные зоны

Следуя требованиям документа [2], необходимо определить величину потенциального пожарного риска, являющуюся промежуточной величиной, которая требует дальнейшей оценки. На завершающем этапе проводится оценка социального и индивидуального пожарного риска на селитебной территории.

Для визуализации результатов расчетов с учетом возможности управления пожарными рисками в программном модуле используется интернет-картографический модуль “Google Maps”.

Ниже представлены результаты расчетов и итоговые величины пожарных рисков с учетом каждого рассмотренного события, инициирующего пожароопасную ситуацию.

Для удобства определения величины пожарных рисков территория объекта разбивается на зоны и учитывается количество человек, обслуживающих данную территорию или технологическую установку (рис. 9).

На рис. 9 территория разбита на следующие зоны:

- А — зона работы операторов на железнодорожной эстакаде (2 чел.);
- Б — то же, у резервуарной группы (РГС 50) (2 чел.);
- В — то же, у резервуарной группы (РГС 100) (2 чел.);
- Г — то же, у резервуарной группы (РГС 100) (2 чел.);
- Д — то же, у сепаратора (1 чел.);
- Е — то же, на автогазозаправочной станции (АГЗС) (2 чел.);
- Ж — административно-бытовой комплекс (АБК) (8 чел.).
- З — торговый комплекс (1000 чел.);
- И — микрорайон “Нефтяник” (300 чел.).

- Ж — административно-бытовой комплекс (АБК) (8 чел.).

Помимо основных, на рис. 9 обозначены прилегающие объекты (зоны):

- З — торговый комплекс (1000 чел.);
- И — микрорайон “Нефтяник” (300 чел.).

На рис. 9 представлены зоны распространения потенциального пожарного риска на территории ГРС и прилегающей селитебной территории.

Результаты расчетов пожарных рисков для объектов (зон) и вероятность присутствия на них людей представлены в табл. 2 и обобщены на рис. 10. На рис. 11 приведена f/n -диаграмма социального

Таблица 2. Результаты расчетного определения величин индивидуального и социального пожарного рисков

Зона территории	Вероятность присутствия людей	Индивидуальный пожарный риск		Социальный пожарный риск	
		нормативный	фактический	нормативный	фактический
А	0,5	$1 \cdot 10^{-6}$ или $1 \cdot 10^{-4}$	$8,14 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$ или $1 \cdot 10^{-5}$	$6,41 \cdot 10^{-7}$
Б	0,5		$1,09 \cdot 10^{-5}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
В	0,5		$1,14 \cdot 10^{-5}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
Г	0,5		$1,02 \cdot 10^{-5}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
Д	0,5		$4,90 \cdot 10^{-6}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
Е	0,5		$7,80 \cdot 10^{-7}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
Ж	0,5		$5,04 \cdot 10^{-6}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
З	1,0	$1 \cdot 10^{-8}$ или $1 \cdot 10^{-6}$	$2,35 \cdot 10^{-7}$		$2,28 \cdot 10^{-7}$
И	1,0		$2,89 \cdot 10^{-7}$		$2,28 \cdot 10^{-7}$

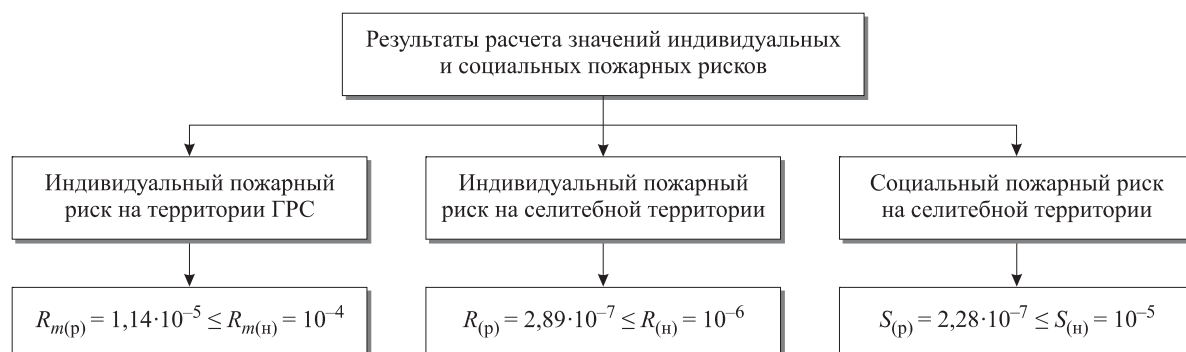


Рис. 10. Результаты расчета величин пожарных рисков: $R_{m(p)}$, $R_{m(n)}$ — соответственно фактический и нормативный индивидуальный пожарный риск на территории ГРС; $R_{(p)}$, $R_{(n)}$ — соответственно фактический и нормативный индивидуальный пожарный риск на селитебной территории; $S_{(p)}$, $S_{(n)}$ — соответственно фактический и нормативный социальный пожарный риск на селитебной территории

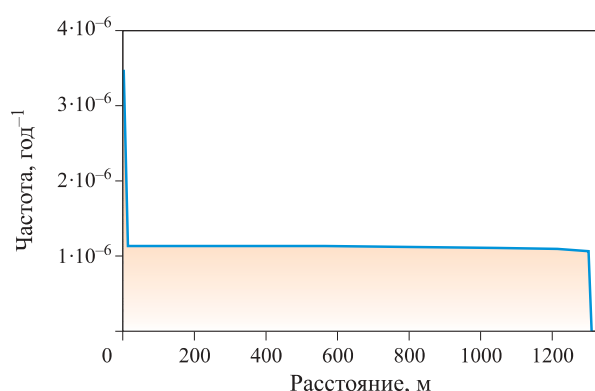


Рис. 11. f/n -диаграмма социального риска

риска, отражающая зависимость между частотой аварий и количественным показателем летальных исходов.

Для производственных объектов, на которых для людей, находящихся в жилой, общественно-деловой зонах или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, обеспечение величины $R_{(n)} \leq 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ и (или) $S_{(n)} \leq 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение $R_{(n)}$ до 10^{-6} год^{-1} и (или) $S_{(n)}$ до 10^{-5} год^{-1} . При этом должны быть предусмотрены средства оповещения людей, находящихся в жилой, общественно-деловой зонах или зоне рекреационного назначения, о пожаре на производственном объекте, а также дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению их пожарной безопасности и социальной защиты.

Заключение

Апробация разработанной веб-ориентированной ИС “FireRisks” для расчета величины пожарных рисков и управления ими на производственных объектах показала ее эффективность.

Эффективность данной ИС основана прежде всего на возможности проводить значительное количество расчетных online-операций с учетом множества наружных технологических установок за сравнительно небольшой временной период. За счет повышения скорости и удобства проводимых расчетов возрастает вариативность анализа управленческих решений, что, в свою очередь, ведет к качественному анализу объекта защиты и формированию индивидуальных и эффективных мер по снижению расчетных величин пожарных рисков. Данные операции проводятся с учетом анализа пожарной опасности объекта защиты, на основе технологических параметров процессов, конструктивных особенностей и размещения технологического оборудования в соответствии с требованиями действующих нормативно-технических документов. Таким образом, подтверждается возможность использования представленной информационной системы для дальнейшего исследования методов интеллектуальной поддержки принятия решений на объектах нефтепереработки.

В настоящий момент проводится работа по совершенствованию структуры веб-информационной системы, а также по созданию на ее платформе специальных инструментов поддержки принятия решений (оптимизация расположения новой технологической установки на ограниченной территории [14], подбор оптимальных мероприятий по снижению величин пожарных рисков с технической и экономической точек зрения [15] и др.). Для повышения производительности расчетов прорабатывается вопрос о применении ряда оптимизационных методов, в том числе генетических алгоритмов. Результаты работы в данном направлении будут представлены в следующих статьях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. Федер. закона от 10.07.2012 № 117-ФЗ) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 29 с.
3. Швырков С. А., Воробьев В. В., Ибатулин Р. К. Оценка пожарного риска для автомобильной газозаправочной станции от расположенных вблизи автомагистрали очистных сооружений // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — № 4(62). — С. 64–73.
4. Швырков С. А., Воробьев В. В., Петров А. П., Шаповалов Д. С. Оценка пожарного риска для топливозаправочного комплекса в морском торговом порту // Технологии техносферной безопасности. — 2015. — № 3(61). — С. 52–62.
5. Cekirge H. M. Quantitative risk assessment for crude oil pipelines // International Journal of Environmental Monitoring and Analysis. — 2015. — Vol. 3, No. 3. — С. 147–153. DOI: 10.11648/j.ijema.20150303.16.
6. Skogdalen J. E., Vinnem J. E. Quantitative risk analysis of oil and gas drilling, using Deepwater Horizon as case study // Reliability Engineering & System Safety. — 2002. — Vol. 100. — P. 58–66. DOI: 10.1016/j.ress.2011.12.002.
7. Aven T., Kørte J. On the use of risk and decision analysis to support decision-making // Reliability Engineering & System Safety. — 2003. — Vol. 79, No. 3. — P. 289–299. DOI: 10.1016/s0951-8320(02)00203-x.
8. Гудин С. В., Хабибуллин Р. Ш., Рубцов Д. Н. Проблемы управления пожарными рисками на территории объектов нефтепереработки с использованием современных программных продуктов // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 12. — С. 40–45. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.40-45.
9. Правила проведения расчетов по оценке пожарного риска : постановление Правительства РФ от 31.03.2009 № 272; введ. 01.05.2009 // Российская газета. — Федер. вып. № 4884 от 08.04.2009. URL: www.rg.ru/2009/04/08/pozhar-risk-dok.html (дата обращения: 05.01.2016).
10. Изменения, вносимые в приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 : приказ МЧС РФ от 14.12.2010 № 649. URL: base.consultant.ru (дата обращения: 05.01.2016).
11. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
12. Рубцов Д. Н., Рубцов В. В., Хабибуллин Р. Ш., Шалымов М. С. Моделирование нагрева фланцевых соединений технологических систем с нефтью и нефтепродуктами в экстремальных условиях пожара // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2012. — № 4. — С. 38–44.
13. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004.
14. Гудин С. В., Хабибуллин Р. Ш. Оптимизация расположения технологической установки на территории производственного объекта на основе генетического алгоритма // Материалы 8-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2015). — В 3 т. — Ростов-на-Дону : Изд-во Южного федерального университета, 2015. — С. 54–56.
15. Гудин С. В. Интеллектуальный модуль для оптимизации решений по снижению пожарных рисков на территории производственных объектов // Проблемы техносферной безопасности–2015 : Материалы IV Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. — С. 67–70.

Материал поступил в редакцию 20 января 2016 г.

Для цитирования: Гудин С. В., Хабибуллин Р. Ш., Рубцов Д. Н., Рубцов В. В. Оценка расчетных величин пожарного риска на территории газораспределительной станции // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 32–42. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.32-42.

EVALUATION OF FIRE RISK VALUES IN THE TERRITORY OF A GAS DISTRIBUTION STATION

GUDIN S. V., Postgraduate Student, Information Technologies Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: sergey.gudin@firerisks.ru)

KHABIBULIN R. Sh., Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of Information Technologies Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: kh-r@yandex.ru)

RUBTSOV D. N., Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Fire Safety of Technological Processes Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: aiaks@mail.ru)

RUBTSOV V. V., Candidate of Technical Sciences, Docent, Professor of Fire Safety of Technological Processes Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: aubez@mail.ru)

ABSTRACT

The legislation established that the basis for calculations of the risk of fire is not fulfillment of fire safety requirements established in the regulations on fire safety. So, as a rule, many departures from fire safety requirements dictated by the forced reduction of fire distance from the outer to the processing units adjacent to them objects of protection. Also, as a rule, many deviations from the requirements of fire safety at production facilities is dictated by the forced cuts in fire distances from process installations to the adjacent objects of protection.

For example, on a typical distribution station the procedure for determining the estimated value of fire risk was shown. The structure of web-based platform for the fire risk management of fire risks in the oil refining facilities "FireRisks", which had been used for the presented quantitative risk assessment was showed. Examples of trees of fire situations, the values of the parameters of fire hazards, depending on the distance are showed. As a result, the quantities risk values calculated, and it is concluded about the possibility of the use of information systems for further study of intellectual support of decision-making methods in the oil-refining facilities.

The efficiency of the presented information system are based primarily on the opportunity to spend a significant amount of settlement of online transactions, including numerous external processing plants in a relatively short period of time. By increasing the speed and convenience of the calculations increases the variability of the analysis of management decisions, which in turn leads to a qualitative analysis of the object of protection and the formation of individual and effective measures to reduce the calculated risk values.

At the moment, the work on improving the structure of the created information system, as well as the creation on its platform specific decision support tools (optimization of the location of the new processing plant in a limited area, selection of optimum measures to reduce the quantities of fire risks from a technical and economic point of view, et al.). To increase the performance of calculations elaborate on the use of optimization techniques, including genetic algorithms.

Keywords: gas distribution station; fire risk; information system; fire hazards; fire hazard situations.

REFERENCES

1. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (as amended by Federal Law on 10.07.2012 No. 117). *Sobraniye zakonodatelstva RF (Collection of Laws of the Russian Federation)*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects*. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).

3. Shvyrkov S. A., Vorobyev V. V., Ibatulin R. K. Fire risk evaluation for automotive gas station from treatment plants located near the motorway. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti (Technology of Technosphere Safety)*, 2015, no. 4(62), pp. 64–73 (in Russian).
4. Shvyrkov S. A., Vorobyev V. V., Petrov A. P., Shapovalov D. S. Fire risk evaluation for refuelling complex in sea trading port. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti (Technology of Technosphere Safety)*, 2015, no. 3(61), pp. 52–62 (in Russian).
5. Cekirge H. M. Quantitative risk assessment for crude oil pipelines. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 2015, vol. 3, no. 3, pp. 147–153. DOI: 10.11648/j.ijema.20150303.16.
6. Skogdalen J. E., Vinnem J. E. Quantitative risk analysis of oil and gas drilling, using Deepwater Horizon as case study. *Reliability Engineering & System Safety*, 2002, vol. 100, pp. 58–66. DOI: 10.1016/j.res.2011.12.002.
7. Aven T., Kørte J. On the use of risk and decision analysis to support decision-making. *Reliability Engineering & System Safety*, 2003, vol. 79, no. 3, pp. 289–299. DOI: 10.1016/s0951-8320(02)00203-x.
8. Gudín S. V., Khabibulin R. Sh., Rubtsov D. N. Problems of decision making in the fire risks management at the territories of oil processing facilities using modern software products. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 12, pp. 40–45 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.12.40-45.
9. Rules of calculation of fire risk. Russian Federation Government Resolution on 31.03.2009 No. 272. *Rossiyskaya gazeta (Russian Newspaper)*, Federal issue no. 4884 on 08.04.2009 (in Russian). Available at: www.rg.ru/2009/04/08/pozhar-risk-dok.html (Accessed 5 January 2016).
10. *Changes to the order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404. Appendix to the Order of Emercom of Russia on 14.12.2010 No. 649* (in Russian). Available at: base.consultant.ru (Accessed 5 January 2016).
11. *Set of rules 12.13130.2009. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
12. Rubtsov D. N., Rubtsov V. V., Khabibulin R. Sh., Shalymov M. S. Simulation of flang connections of heat technological systems with oil and oil products in emergency situations. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya (Fire and Emergencies: Prevention, Elimination)*, 2012, no. 4, pp. 38–44 (in Russian).
13. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting*. Reference book. 2nd ed. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004 (in Russian).
14. Gudín S. V., Khabibulin R. Sh. Optimization of technological installation on the territory of the production facility based on the genetic algorithm. In: *Proceedings of 8th All-Russian Multiconference of Managing Problems*. Rostov-on-Don, Southern Federal University Publishing House, 2015, pp. 54–56 (in Russian).
15. Gudín S. V. Intelligent module for optimization solutions for reducing fire risks on the territory of production facilities. In: *Problems of Technosphere Safety-2015. Proceedings of IV International Scientific-Practical Conference of Young Scientists and Specialists*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015, pp. 67–70 (in Russian).

For citation: Gudín S. V., Khabibulin R. Sh., Rubtsov D. N., Rubtsov V. V. Evaluation of fire risk values in the territory of a gas distribution station. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 32–42. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.32-42.

С. А. ШЕВЦОВ, д-р техн. наук, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности технологических процессов, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: shevtsov_sa@vigps.ru)

Д. В. КАРГАШИЛОВ, канд. техн. наук, начальник кафедры пожарной безопасности технологических процессов, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: kargashil@mail.ru)

С. В. ПОТЕХА, курсант факультета инженеров пожарной безопасности, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: pbtp.mchs@yandex.ru)

И. А. БЫКОВ, курсант факультета инженеров пожарной безопасности, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: pbtp.mchs@yandex.ru)

УДК 614.841.12

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ “БОЛЬШИХ ДЫХАНИЙ” НАЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

Проведена оценка пожарной опасности “больших дыханий” наземных резервуаров для хранения нефтепродуктов численными методами. Найдена вероятность воспламенения взрывоопасной смеси бензина с кислородом воздуха в окрестности резервуара при его заполнении нефтепродуктом. Определена масса паров бензина, вытесняемых из резервуара за одно “большое дыхание” в результате его испарения. Спрогнозированы параметры волны давления и радиус зоны поражения пожара-вспышки при воспламенении паровоздушной взрывоопасной концентрации при возникновении источника зажигания вблизи резервуара с нефтепродуктом. Определена условная вероятность поражения человека (оператора), находящегося в непосредственной близости от объекта защиты, в течение года с учетом реализации пожароопасной ситуации.

Ключевые слова: пожаровзрывоопасность; хранение нефтепродуктов; испарение нефтепродуктов; наземный резервуар; “большое дыхание”; взрывоопасная концентрация; волна давления; пожар-вспышка; поражение человека; индивидуальный пожарный риск.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.43-51

Процесс заполнения и хранения нефти и нефтепродуктов в резервуарах всегда сопровождается выбросом легких газообразных углеводородов в атмосферу [1, 2]. Проблема потерь нефтепродуктов от испарения носит комплексный характер и связана с большими финансовыми потерями, ухудшением качества нефтепродуктов, экологической опасностью и возникновением пожаровзрывоопасных ситуаций на предприятиях хранения и переработки нефтепродуктов [3–5].

В России средняя частота возникновения пожаров с серьезными последствиями по отраслям нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности составляет приблизительно 12 пожаров в год. Наиболее опасным считается наземное хранение углеводородов: в наземных резервуарах типа РВС происходит 93,3 % пожаров и аварий, из них в резервуарах с бензином — 53,8 % [6].

Одной из причин возникновения пожаровзрывоопасных ситуаций на предприятиях хранения и переработки нефтепродуктов является воспламенение паровоздушных взрывоопасных концентраций (ВОК), образующихся вблизи резервуаров при их “больших дыханиях”. “Большое дыхание” представляет собой процесс вытеснения всего газового объема из резервуара через дыхательный клапан в атмосферу, который происходит при заполнении опорожненного резервуара нефтепродуктом. С учетом большой интенсивности и сравнительно малого времени “большие дыхания” можно рассматривать как залповые выбросы паровоздушной смеси, в результате которых могут образовываться взрывоопасные концентрации, что резко повышает взрывоопасность на нефтебазах.

Примером подобной аварии может служить пожар на АЗС по ул. Крымский Вал (г. Москва), про-

исшедший в 1997 г. при сливе топлива из топливозаправщика в емкости АЗС. Причиной пожара явилась искра от топливозаправщика, которая вызвала возгорание паровоздушной смеси в результате “большого дыхания” емкости при заправке. Затем огонь распространился на емкости с бензином. Для ликвидации пожара были привлечены 53 пожарных и 16 единиц техники [7].

Пожарная опасность “больших дыханий” резервуаров с нефтепродуктом является областью научных интересов многих специалистов отрасли и описана в работах [8–12].

Цель работы — оценка пожарной опасности хранения нефтепродуктов в резервуарах типа РВС при их заполнении.

Постановка задачи: численными методами определить вероятность воспламенения паровоздушной смеси вблизи резервуара с бензином, в результате которого будет нанесен вред жизни или здоровью человека (оператора, контролирующего процесс заполнения резервуара), находящегося в непосредственной близости от объекта защиты.

Исходные данные и допущения. В работе приняты следующие исходные данные: вместимость резервуара $V_{рез} = 3000 \text{ м}^3$; высота $H_p = 12 \text{ м}$, радиус $R_p = 9,5 \text{ м}$; высота корпуса крыши $h_k = 1 \text{ м}$ (ГОСТ 31385–2008); количество оборотов емкости в год $n_{об} = 24 \text{ год}^{-1}$. Продолжительность выброса паровоздушной смеси принимаем $\tau_{ПВС} = 6,4 \text{ ч}$, так как она соответствует времени полного заполнения резервуара, опорожненного на 80 %, что, в свою очередь, зависит от производительности насоса G , которую принимаем равной $375 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,104 \text{ м}^3/\text{с}$). Считаем, что на резервуаре установлена молниезащита типа Б, следовательно вероятность ее безотказной работы $\beta = 0,95$ [13]. Местонахождение — Воронежская область, где вероятность штиля $Q_{шт} = 0,14$ (ГОСТ 31385–2008), частота ударов молнии $N = 4 \text{ км}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$ [13]. Технологическая среда — бензин АИ-93 (летний); его средняя рабочая температура $t_p = 40,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (что соответствует максимальной температуре в Воронежской области в июле [14]); нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{НКПР} = 0,76 \%$, верхний концентрационный предел распространения пламени $C_{ВКПР} = 5,16 \%$, нижний температурный предел распространения пламени $T_{НТПР} = -36 \text{ }^\circ\text{C}$; верхний температурный предел распространения пламени $T_{ВТПР} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$; константы Антуана $A = 4,12311$, $B = 664,976$, $C_A = 221,695$; молярная масса $M_6 = 0,0982 \text{ кг/моль}$ [15–17]. Частота искроопасных операций при ручном измерении уровня $N_{з.у} = 1000 \text{ год}^{-1}$, включений электродвигателей резервуара $N_{эл} = 40 \text{ год}^{-1}$, искроопасных операций при проведении техобслуживания резервуара, связанного с применением металлического, шлифовального

и другого искроопасного инструмента, $N_{ТО} = 24 \text{ год}^{-1}$. Характеристика рабочего места — место оператора, контролирующего процесс наполнения резервуара, на открытом пространстве на расстоянии $r = 14 \text{ м}$ от центра РВС.

Алгоритм решения задачи. Найдем вероятность возникновения воспламенения в окрестности резервуара в соответствии с ГОСТ 12.1.004–91*. Из анализа исходных данных следует, что концентрация паров бензина в резервуаре выше верхнего концентрационного предела распространения пламени, т. е. в резервуаре при неподвижном слое легковоспламеняющейся жидкости находится негорючая среда. При заполнении резервуара бензином в его окрестности образуется горючая среда, вероятность выброса которой $Q_{выбр}$ определяется по формуле

$$Q_{выбр} = \frac{n_{об} \tau_{ПВС}}{\tau_{раб}} = \frac{1 \cdot 24 \cdot 6,4}{8760} = 17,5 \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где $\tau_{раб}$ — анализируемый период времени, ч.

Во время штиля около резервуара образуется зона ВОК паровоздушной смеси [18], вероятность появления которой

$$Q_{ВОК} = Q_{выбр} Q_{шт} = 17,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,14 = 2,45 \cdot 10^{-3}. \quad (2)$$

Диаметр этой взрывоопасной зоны D (м) по ГОСТ 12.1.004–91* составляет:

$$D = 2R_p + 10H_p \left(\frac{G C_{раб}}{C_{НКПР} H_p^2} \right)^{0,86} = 2 \cdot 9,5 + 10 \cdot 12 \cdot \left(\frac{0,104 \cdot 27,5}{0,76 \cdot 12^2} \right)^{0,86} = 24,22 \text{ м}, \quad (3)$$

где $C_{раб}$ — рабочая концентрация паров бензина в резервуаре [17], %;

$$C_{раб} = \frac{P_n}{P_n + P_0} \cdot 100 \% = \frac{38,5}{38,5 + 101,3} \cdot 100 \% = 27,5 \%, \quad (4)$$

P_n — давление насыщенных паров бензина в резервуаре при рабочей температуре [17], кПа;

$$P_n = 10^{\frac{A - \frac{B}{t_p + C_A}}{4,12311 - \frac{664,976}{40,5 + 221,695}}} = 38,5 \text{ кПа}; \quad (5)$$

P_0 — атмосферное давление воздуха, кПа; $P_0 = 101,3 \text{ кПа}$.

Частота ударов молнии во взрывоопасную зону

$$N_{у.м}^{ВОК} = (D + 6(H_p + 5))^2 N \cdot 10^{-6} = (24,22 + 6 \cdot (12 + 5))^2 \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 0,064. \quad (6)$$

Вероятность прямого удара молнии $Q_{y.m}$ в данную зону составляет:

$$Q_{y.m} = 1 - e^{-N_{y.m}^{BOK} \tau} = 1 - e^{-0,064 \cdot 1} = 0,06, \quad (7)$$

где τ — продолжительность периода наблюдения, лет; $\tau = 1$ год.

Вычислим вероятность отказа молниезащиты $Q_{o.m}$ в течение года при исправности молниеотвода:

$$Q_{o.m} = 1 - \beta = 1 - 0,95 = 0,05. \quad (8)$$

Тогда вероятность поражения молнией

$$Q_m = Q_{y.m} Q_{o.m} = 0,06 \cdot 0,05 = 3 \cdot 10^{-3}. \quad (9)$$

Будем считать, что имеющееся на резервуаре защитное заземление находится в исправном состоянии, поэтому вероятность вторичного воздействия молнии на взрывоопасную зону вблизи резервуара и заноса в нее высокого потенциала равна нулю. Следовательно, вероятность разряда атмосферного электричества $Q_{a.z}$ в зоне резервуара составит:

$$Q_{a.z} = Q_m = 3 \cdot 10^{-3}. \quad (10)$$

Примем, что из всего многообразия фрикционных искр вблизи резервуара может образоваться искра из-за ошибки оператора, производящего операции измерения уровня или применяющего вблизи резервуара металлический и другой искроопасный инструмент.

Тогда вероятность появления около резервуара фрикционных искр $Q_{ф.и}$ составит:

$$Q_{ф.и} = Q_{ош} Q_{п.о} = 1,52 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 1,52 \cdot 10^{-3}, \quad (11)$$

где $Q_{ош}$ — вероятность ошибки оператора, производящего операции измерения уровня и техобслуживания резервуара; $Q_{ош} = 1,52 \cdot 10^{-3}$ (по ГОСТ 12.1.004–91*);

$Q_{п.о}$ — вероятность проведения операции измерения уровня и техобслуживания резервуара, связанных с применением вблизи резервуара металлического, шлифовального и другого искроопасного инструмента;

$$Q_{п.о} = 1 - e^{-(N_{з.у} + N_{ТО}) \tau} = 1 - e^{-(1000 + 24) \cdot 1} = 1. \quad (12)$$

Вероятность появления электрических искр $Q_{э.и}$ при замыкании и размыкании контактов электрозадвижек определяем по формуле

$$Q_{э.и} = Q_z Q_{с.з} = 10^{-8} \cdot 1 = 10^{-8}, \quad (13)$$

где Q_z — вероятность несоответствия электрооборудования резервуара категории и группе горючей среды в течение года; если принять, что исполнение электрозадвижек резервуара соответствует категории и группе взрывоопасной смеси, то $Q_z = 10^{-8}$ (ГОСТ 12.1.004–91*);

$Q_{с.з}$ — вероятность срабатывания электрооборудования резервуара;

$$Q_{с.з} = 1 - e^{-N_{эл} \tau} = 1 - e^{-40 \cdot 1} = 1. \quad (14)$$

Таким образом, общая вероятность появления во взрывоопасной зоне вблизи резервуара какого-либо источника зажигания будет составлять:

$$Q_{и.з} = Q_{a.z} + Q_{ф.и} + Q_{э.и} = 3 \cdot 10^{-3} + 1,52 \cdot 10^{-3} + 10^{-8} = 4,52 \cdot 10^{-3}. \quad (15)$$

Предположим, что энергии и времени существования этих источников зажигания достаточно для воспламенения горючей среды. Тогда вероятность возникновения воспламенения в окрестности резервуара определим по формуле

$$Q_{воспл} = Q_{BOK} Q_{и.з} = 2,45 \cdot 10^{-3} \cdot 4,52 \cdot 10^{-3} = 11 \cdot 10^{-3}. \quad (16)$$

При сгорании облака паровоздушной смеси возможны два сценария развития пожара — пожар-вспышка и взрыв [19, 20].

Найдем условную вероятность поражения человека, находящегося вблизи резервуара, волной давления, образовавшейся в результате взрыва паровоздушной смеси ВОК, в соответствии с [21].

Масса паров бензина, вытесняемых из резервуара за одно “большое дыхание”, $m_{п}$ (кг) составит [21]:

$$m_{п} = \rho_{п} V_{п} P_{п} / P_0, \quad (17)$$

где $\rho_{п}$ — плотность паров бензина, кг/м³;

$$\begin{aligned} \rho_{п} &= \frac{M_6}{V_0 (1 + 0,00367 t_p)} = \\ &= \frac{98,2}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 40,5)} = 3,815 \text{ кг/м}^3; \end{aligned} \quad (18)$$

$V_{п}$ — геометрический объем паровоздушного пространства резервуара, м³;

$$\begin{aligned} V_{п} &= 0,8 V_{рез} + \pi R_{рез}^2 \frac{1}{3} h_k = \\ &= 0,8 \cdot 300 + 3,14 \cdot 9,5^2 \cdot 1/3 \cdot 1 = 2294,5 \text{ м}^3. \end{aligned} \quad (19)$$

Тогда

$$m_{п} = 3,815 \cdot 2294,5 \cdot 38,5/101,3 = 3327 \text{ кг}.$$

Массу паров бензина, содержащихся в облаке с концентрацией между нижним и верхним концентрационными пределами распространения пламени, $m_{ВОК}$ (кг) примем

$$m_{ВОК} = m_{п} Z = 2290 \cdot 0,1 = 332,7 \text{ кг}, \quad (20)$$

где Z — коэффициент участия паров бензина в горении [20].

Найдем величину удельного энерговыделения $E_{уд}$ (Дж/кг) при горении бензина по формуле

$$E_{уд} = \alpha E_{уд0} = 1 \cdot 44 \cdot 10^6 = 44 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}, \quad (21)$$

где α — корректирующий параметр для бензина [20];

$E_{уд0}$ — удельная теплота сгорания для типичных углеводов, Дж/кг [20].

Определим стехиометрический коэффициент k при кислороде в реакции сгорания для летнего бензина с химической формулой $C_{7,024}H_{13,708}$ [17]:

$$k = n_C + \frac{n_H - n_x}{4} - \frac{n_O}{2} = 7,024 + \frac{13,708}{4} = 10,45, \quad (22)$$

где n_C, n_H, n_O, n_x — число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле бензина соответственно.

Определим стехиометрическую концентрацию паров бензина:

$$C_{ст} = \frac{100}{1 + 4,84k} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 10,45} = 1,94 \%. \quad (23)$$

Концентрацию горючего в смеси C_r (%) примем равной НКПР, т. е. $C_r = C_{НКПР} = 0,76 \%$.

Найдем плотность воздуха ρ_v (кг/м³) при расчетной температуре и атмосферном давлении:

$$\rho_v = \frac{M_v}{V_0(1 + 0,00367t_p)} = \frac{28,98}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 40,5)} = 1,126 \text{ кг/м}^3, \quad (24)$$

где M_v — молярная масса воздуха, кг/кмоль;
 V_0 — мольный объем, м³/кмоль.

При определении эффективного энергозапаса горючей смеси учитываем, что облако расположено на поверхности земли, так как плотность паров бензина при прочих равных условиях выше, чем плотность воздуха. Так как $C_r \leq C_{ст}$, эффективный энергозапас горючей смеси

$$E = 2m_{в\text{ок}} E_{уд} = 2 \cdot 332,7 \cdot 44 \cdot 10^6 = 29,278 \cdot 10^9 \text{ Дж}. \quad (25)$$

Так как бензин относится к веществам 3-го класса горючести [21], видимую скорость распространения фронта пламени паровоздушной смеси u_p (м/с) определим по формуле

$$u_p = k_1 m_{в\text{ок}}^{1/6} = 43 \cdot 332,7^{1/6} = 133 \text{ м/с}, \quad (26)$$

где k_1 — константа, равная 43 [21].

Видимая скорость распространения фронта пламени меньше максимальной скорости распространения фронта пламени паровоздушной смеси для веществ 3-го класса горючести (300 м/с [21]), поэтому для расчетов примем $u_p = 300$ м/с.

Безразмерное расстояние от центра облака r_x считаем по формуле

$$r_x = \frac{r}{\left(\frac{E}{p_0}\right)^{1/3}} = \frac{14}{\left(\frac{29,278 \cdot 10^9}{101325}\right)^{1/3}} = 0,21. \quad (27)$$

Так как $r_x < 0,34$, далее для расчетов принимаем $r_x = 0,34$ [21]. Тогда величину безразмерного давления p_x определим из выражения

$$p_x = \frac{u^2}{C_0^2} \frac{\sigma - 1}{\sigma} \left(\frac{0,83}{r_x} - \frac{0,14}{r_x^2} \right) = \frac{300^2}{340^2} \frac{7 - 1}{7} \left(\frac{0,83}{0,34} - \frac{0,14}{0,34^2} \right) = 1,44, \quad (28)$$

где σ — степень расширения продуктов сгорания для газопаровоздушных смесей [21];

C_0 — скорость звука в воздухе, м/с.

Безразмерную величину импульса фазы сжатия I_x найдем из соотношения

$$I_x = \frac{u}{C_0} \frac{\sigma - 1}{\sigma} \left(1 - 0,4 \frac{u}{C_0} \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \left(\frac{0,06}{r_x} + \frac{0,01}{r_x^2} - \frac{0,0025}{r_x^3} \right) = \frac{300}{340} \frac{7 - 1}{7} \left(1 - 0,4 \frac{300}{340} \frac{7 - 1}{7} \right) \times \left(\frac{0,06}{0,34} + \frac{0,01}{0,34^2} - \frac{0,0025}{0,34^3} \right) = 0,105. \quad (29)$$

Избыточное давление Δp (кПа) определим по формуле

$$\Delta p = p_x p_0 = 1,44 \cdot 101325 = 145,9 \text{ кПа}. \quad (30)$$

Размерную величину импульса фазы сжатия I^+ найдем по формуле

$$I^+ = \frac{I_x p_0^{2/3} E^{1/3}}{C_0} = \frac{0,105 \cdot 101325^{2/3} \cdot (29,278 \cdot 10^9)^{1/3}}{340} = 2069 \text{ Па} \cdot \text{с}. \quad (31)$$

Для определения условной вероятности поражения человека, находящегося вблизи резервуара, волной давления используем пробит-функцию вида

$$P_r = 5,0 - 5,74 \ln S, \quad (32)$$

где $S = \frac{4,2}{\bar{P}} + \frac{1,3}{\bar{i}}$;

$$\bar{P} = \frac{\Delta p}{p_0} = \frac{145,9 \cdot 10^3}{101325} = 1,44;$$

$$\bar{i} = \frac{I^+}{p_0^{1/2} m^{1/3}} = \frac{2069}{101325^{1/2} \cdot 70^{1/3}} = 1,58;$$

m — масса тела человека, принимаемая равной 70 кг.

Тогда

$$S = \frac{4,2}{1,44} + \frac{1,3}{1,58} = 3,74,$$

а пробит-функция

$$P_r = 5,0 - 5,74 \ln 3,74 = -2,57.$$

Значение условной вероятности поражения человека, находящегося вблизи резервуара на открытом пространстве при взрыве паровоздушной смеси, определим по табл. П4.2 из [21]: $Q_{в\text{озд.взр}} = 0$.

Поскольку радиус зоны поражения R_F (м) при пожаре-вспышке практически совпадает с максимальным размером облака продуктов сгорания [21] и равен

$$R_F = \frac{1,2D}{2} = \frac{1,2 \cdot 24,22}{2} = 14,5 \text{ м}, \quad (33)$$

для оператора, находящегося вблизи резервуара (на расстоянии 14 м, что меньше $R_F = 14,5$ м), условная вероятность поражения $Q_{\text{возд.всп}} = 1$ [20].

Анализируя данные, приведенные в приложении 3 [20] и табл. 2.4 [22], можно сделать вывод, что вероятность взрыва намного ниже вероятности пожара-вспышки при сгорании облака паровоздушной смеси и в среднем ее можно оценить как 6 взрывов на 100 воспламенений паровоздушной смеси. Используя вышеуказанные данные, примем вероятность взрыва и вероятность пожара-вспышки.

Поскольку взрыв не несет вреда жизни и здоровью человека, условную вероятность поражения человека при сгорании облака паровоздушной смеси в режиме пожара-вспышки при условии, что оператор будет всегда находиться вблизи резервуара при его наполнении, найдем по формуле

$$Q = Q_{\text{воспл}} Q_{\text{всп}} Q_{\text{возд.всп}} = 11 \cdot 10^{-3} \cdot 0,94 \cdot 1 = 10,34 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}. \quad (34)$$

Выводы

Высокое значение условной вероятности поражения человека в результате воспламенения паровоздушной смеси, образовавшейся вблизи резервуара вследствие его наполнения из-за испарения нефтепродукта, связано с тем, что расчеты велись по наиболее неблагоприятному сценарию развития пожароопасной ситуации [21]. На современных объектах организация хранения нефтепродуктов реализуется в соответствии с правилами ведения технологических процессов, которые предусматривают в обязательном порядке меры, снижающие вероятность аварии при “больших дыханиях” [23].

Тем не менее расчетное значение условной вероятности поражения человека в результате воспламенения паровоздушной смеси, полученное по действующим методикам, доказывает высокую пожаровзрывоопасность “больших дыханий” при наполнении резервуаров нефтепродуктом, что, несомненно, отразится на величине индивидуального пожарного риска [24], которая учитывает все сценарии развития пожароопасных ситуаций.

Таким образом, для снижения данной вероятности необходимо предусмотреть инженерно-технические решения, позволяющие уменьшить или совсем исключить выброс паровоздушной смеси при осуществлении операций наполнения резервуара нефтепродуктом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abdelmajeed M. A., Onsa M. H., Rabah A. A. Management of evaporation losses of gasoline's storage tanks // Sudan Engineering Society Journal. — 2009. — Vol. 55, No. 52. — P. 39–43. URL: https://www.researchgate.net/profile/Mahmoud_Onsa/publication/274376940_management_of_evaporation_losses_of_gasoline's_storage_tanks/links/551ce7e30cf20d5fbde55ec3.pdf (дата обращения: 10.10.2016).
2. Данилов В. Ф., Шурыгин В. Ю. К вопросу о решении проблемы потерь нефтепродуктов от испарения // Успехи современного естествознания. — 2016. — № 3. — С. 141–145.
3. Рыженко В. Ю. Нефтяная промышленность России: состояние и проблемы // Перспективы науки и образования. — 2014. — № 1(7). — С. 300–308.
4. Carmine Difiglio. Oil, economic growth and strategic petroleum stocks // Energy Strategy Reviews. — 2014. — Vol. 5. — P. 48–58. DOI: 10.1016/j.esr.2014.10.004.
5. Gay J., Shepherd O., Thyden M., Whitman M. The health effects of oil contamination: a compilation of research. — Worcester, Massachusetts : Worcester Polytechnic Institute, 2015. — 211 p. URL: https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/-project-121510-203112/unrestricted/Health_Effects_of_Oil_Contamination_-_Final_Report.pdf (дата обращения: 10.10.2016).
6. Тугунов П. И., Новоселов Н. Ф., Коршак А. А., Шаммазов А. М. Типовые расчеты при проектировании нефтебаз и нефтепроводов : учебное пособие для вузов. — Уфа : ООО “ДизайнПолиграф-Сервис”, 2002. — 658 с.
7. Исследование и разработка технических решений по повышению безопасности автозаправочных станций. URL: <http://www.basheexpert.ru/konkurs/2008/one/proekt3.pdf> (дата обращения: 11.10.2016).
8. Гладкая Л. А., Козий И. С. Исследование и расчет вероятности возникновения пожара в резервуаре сбора товарной нефти // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. — 2007. — № 36. — С. 40–42.

9. Липский В. К., Спириденко Л. М., Бондарчук А. И. Нормы естественной убыли нефти и нефтепродуктов стальных резервуаров // Литье и металлургия. — 2012. — № 3(67). — С. 334–336.
10. Александров А. А. Оценка экологической опасности “большого дыхания” резервуара автозаправочных станций и нефтебаз // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2005. — № 4 — С. 104–107.
11. Березина И. С., Головчун С. Н. Анализ методик расчета процесса испарения светлых нефтепродуктов при перевозке, хранении и сливно-наливных операциях // Вестник Астраханского государственного технического университета. — 2008. — № 6(47). — С. 188–191.
12. Кузнецова С. А. Пожаробезопасность при эксплуатации резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2005. — 22 с.
13. РД 34.21.122–87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений : утв. Главтехуправлением Минэнерго СССР 12.10.1987. URL: <http://files.stroyinf.ru/data1/2/2794/> (дата обращения: 10.10.2016).
14. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01–99*. — Введ. 01.01.2013. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (дата обращения: 10.10.2016).
15. Куанг Ф. Х. Обеспечение безопасной откачки светлых нефтепродуктов из горящих вертикальных стальных резервуаров : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2015. — 142 с.
16. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2-х ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.
17. Шебеко Ю. Н., Смолин И. М., Молчадский И. С., Полетаев Н. Л., Зотов С. В., Колосов В. А., Малкин В. Л., Смирнов Е. В., Гордиенко Д. М. Пособие по применению НПБ 105–95 “Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности” при рассмотрении проектно-сметной документации. — М. : ВНИИПО, 1998. — 119 с.
18. Захарова М. И. Анализ и оценка риска аварий резервуаров и газопроводов при низких температурах : дис. ... канд. техн. наук. — Якутск : Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова, 2015. — 140 с.
19. Шевцов С. А., Каргашилов Д. В., Хабибов М. У. Особенности проектирования резервуарных установок сжиженных углеводородных газов в системах автономного газоэнергоснабжения с учетом оценки пожарного риска // Пожарная безопасность. — 2016. — № 3. — С. 150–155.
20. Гордиенко Д. М., Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Кириллов Д. С., Трунева В. А., Гилетич А. Н., Комков П. М. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. — М. : ВНИИПО, 2012. — 242 с.
21. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : утв. приказом МЧС России от 10.07.2009 № 404 (в ред. приказа МЧС России от 14.12.2010 № 649). URL: <http://base.garant.ru/196118/> (дата обращения: 10.10.2016).
22. Болодьян И. А., Шебеко Ю. Н., Карпов В. Л., Макеев В. И., Некрасов В. П., Пономарев А. А., Строгонов В. В., Гордиенко Д. М., Лагозин А. Ю., Григорьева А. В., Кириллов Д. С., Дешевых Ю. И., Гилетич А. Н., Макеев А. А. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. — М. : ВНИИПО, 2006. — 97 с.
23. Руководство по безопасности для нефтебаз и складов нефтепродуктов : утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26.12.2012 № 777. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902389568> (дата обращения: 10.10.2016).
24. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 10.10.2016).

Материал поступил в редакцию 18 октября 2016 г.

Для цитирования: Шевцов С. А., Каргашилов Д. В., Потеха С. В., Быков И. А. Оценка пожарной опасности “больших дыханий” наземных резервуаров для хранения нефтепродуктов численными методами // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 43–51. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.43-51.

ASSESSMENT OF THE FIRE HAZARD OF "BIG RESPIRATIONS" OF LAND RETENTION TANKS OF OIL PRODUCTS BY NUMERICAL METHODS

SHEVTSOV S. A., Doctor of Technical Sciences, Senior Lecture of Fire Safety of Technological Processes Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: shevtsov_sa@vigps.ru)

KARGASHILOV D. V., Candidate of Technical Sciences, Head of Fire Safety of Technological Processes Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: kargashil@mail.ru)

POTEKHA S. V., Cadet of Engineers of Fire Safety Faculty, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: pbtp.mchs@yandex.ru)

BYKOV I. A., Cadet of Engineers of Fire Safety Faculty, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: pbtp.mchs@yandex.ru)

ABSTRACT

An assessment of fire danger of storage of oil products in land RVS tanks at implementation of "big respirations" is given. Parameters of the explosive zone near the tank with gasoline formed as a result of his filling are determined. It is established dependence of probability of ignition of explosive mix of gasoline with air oxygen in the neighborhood of the tank from probability of her education at the corresponding climatic conditions in the set region and probability of manifestation in an explosive zone of a source of the ignition sufficient for ignition of the combustible environment as which categories of atmospheric electricity, manifestation of frictional sparks, and electric sparks of short circuit were considered. The mass of vapors of gasoline which is forced out from the tank for one "big respiration" as a result of his evaporability and also mass of the vapors of gasoline which are contained in a cloud with concentration between the lower and top concentration limits of distribution of a flame is determined. Fire flash defeat zone radius, excessive pressure and impulse of pressure of explosion of steam-air mix in open space, and also extent of their influence on life and health of the person are determined. The probability of the scenario which implementation will constitute danger to the operator controlling process of filling of the tank gasoline is predicted. Value of conditional probability of defeat of the person who is near the tank taking into account realization of a fire-dangerous situation within a year is found that will affect the size of individually fire risk which considers all scenarios of development of fire-dangerous situations. Therefore, for reduction of value of the received probability it is necessary to provide the technical decisions allowing to lower or exclude the emission of steam-air mix connected with an evaporability of oil products at implementation of operations of filling the tank.

Keywords: explosive fire hazard; storage of oil products; evaporation of oil products; land tank; "big respiration"; explosive concentration; pressure wave; fire flash; defeat of the person; individual fire risk.

REFERENCES

1. Abdelmajeed M. A., Onsa M. H., Rabah A. A. Management of evaporation losses of gasoline's storage tanks. *Sudan Engineering Society Journal*, 2009, vol. 55, no. 52, pp. 39–43. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Mahmoud_Onsa/publication/274376940_management_of_evaporation_losses_of_gasoline's_storage_tanks/links/551ce7e30cf20d5fbde55ec3.pdf (Accessed 10 October 2016).
2. Danilov V. F., Shurygin V. Yu. To the question about ways to solve the problem of evaporation loss of oil products. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* (Advances in Current Natural Sciences), 2016, no. 3, pp. 141–145 (in Russian).

3. Ryzhenko V. Yu. Russian oil industry: state and problems. *Perspektivy nauki i obrazovaniya* (Perspectives of Science and Education), 2014, no. 1(7), pp. 300–308 (in Russian).
4. Carmine Difiglio. Oil, economic growth and strategic petroleum stocks. *Energy Strategy Reviews*, 2014, vol. 5, pp. 48–58. DOI: 10.1016/j.esr.2014.10.004.
5. Gay J., Shepherd O., Thyden M., Whitman M. *The health effects of oil contamination: a compilation of research*. Worcester, Massachusetts, Worcester Polytechnic Institute, 2015. 211 p. Available at: https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/-project-121510-203112/unrestricted/Health_Effects_of_Oil_Contamination_-_Final_Report.pdf (Accessed 10 October 2016).
6. Tugunov P. I., Novoselov N. F., Korshak A. A., Shammazov A. M. *Standard calculations at projection of oil depots and oil pipelines*. Manual for higher education institutions. Ufa, LLC DizaynPoligraf-Service Publ., 2002. 658 p. (in Russian).
7. *Research and development of technical solutions on increase in safety of gas stations* (in Russian). Available at: <http://www.basheexpert.ru/konkurs/2008/one/proekt3.pdf> (Accessed 11 October 2016).
8. Gladkaya L. A., Kozyi I. S. Research and calculation of probability of occurrence of fire in the tank of gathering stock-tank oil. *Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta* (Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University), 2007, no. 36, pp. 40–42 (in Russian).
9. Lipskiy V. K., Spiridenok L. M., Bondarchuk A. I. Norms of natural decrease of oil and oil products of steel tanks. *Litye i metallurgiya* (Foundry Production and Metallurgy), 2012, no. 3(67), pp. 334–336 (in Russian).
10. Alexandrov A. A. Estimation of ecological danger of tankys “big breath” of gasoline stations and petroleum storage depot. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* (Vestnik of the Orenburg State University), 2005, no. 4, pp. 104–107 (in Russian).
11. Berezina I. S., Golovchun S. N. Analysis of calculation procedures of the process of evaporation of light mineral oil at transportation, storage and oil cargo operations. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* (Vestnik of Astrakhan State Technical University), 2008, no. 6(47), pp. 188–191 (in Russian).
12. Kuznetsova S. A. *Fire safety at operation of tanks for storage of oil and oil products*. Abstr. cand. tech. sci. diss. Ufa, Ufa State Oil Technical University Publ., 2005. 22 p. (in Russian).
13. *Regulating document 34.21.122–87. Instruction on the structure of lightning protection of buildings and constructions* (in Russian). Available at: <http://files.stroyinf.ru/data1/2/2794/> (Accessed 10 October 2016).
14. *Set of rules 131.13330.2012. Building climatology. The updated edition of Construction Norms and Regulations 23-01–99** (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (Accessed 10 October 2016).
15. Kuang F. Kh. *Ensuring safe pumping of refined oils from the burning vertical steel tanks*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2015. 142 p. (in Russian).
16. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting*. Reference book. 2nd ed. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.; part II, 774 p. (in Russian).
17. Shebeko Yu. N., Smolin I. M., Molchadskiy I. S., Poletaev N. L., Zotov S. V., Kolosov V. A., Malkin V. L., Smirnov E. V., Gordienko D. M. *Grant on application of NFB 105–95 “Determination of categories of rooms and buildings on a fire and explosion and fire hazard” by consideration of design and budget documentation*. Moscow, VNIPO Publ., 1998. 119 p. (in Russian).
18. Zakharova M. I. *The analysis and assessment of risk of failures of tanks and gas pipelines at low temperatures*. Cand. tech. sci. diss. Yakutsk, Institute of Physics and Technology Problems of the North named V. P. Larionov Publ., 2015. 140 p. (in Russian).
19. Shevtsov S. A., Kargashilov D. V., Habibov M. U. Design features of tank installations with liquefied hydrocarbon gases in the autonomous gas and energy supply systems considering fire risk assessment. *Pozharnaya bezopasnost* (Fire Safety), 2016, no. 3, pp. 150–155 (in Russian).
20. Gordienko D. M., Shebeko Yu. N., Shebeko A. Yu., Kirillov D. S., Truneva V. A., Giletich A. N., Komkov P. M. *Grant by definition of estimated values of fire risk for production objects*. Moscow, VNIPO Publ., 2012. 242 p. (in Russian).
21. *Technique of definition of estimated values of fire risk on production objects. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404 (ed. on 14.12.2010 No. 649)* (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/196118/> (Accessed 10 October 2016).

22. Bolodyan I. A., Shebeko Yu. N., Karpov V. L., Makeev V. I., Nekrasov V. P., Ponomarev A. A., Stroganov V. V., Gordienko D. M., Lagozin A. Yu., Grigoryeva A. V., Kirillov D. S., Deshevykh Yu. I., Gile-tich A. N., Makeev A. A. *Management according to fire risk for industrial enterprises*. Moscow, VNIPO Publ., 2006. 97 p. (in Russian).
23. *Management on safety for petroleum storage depots and warehouses of oil products. Order of Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision on 12.26.2012 No. 777* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902389568> (Accessed 10 October 2016).
24. *Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016)* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 8 November 2016).

For citation: Shevtsov S. A., Kargashilov D. V., Potekha S. V., Bykov I. A. Assessment of the fire hazard of “big respirations” of land retention tanks of oil products by numerical methods. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 43–51. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.43-51.



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

С. В. ШАРАПОВ, д-р техн. наук, профессор, начальник Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

А. С. КРУТОЛАПОВ, д-р техн. наук, доцент, заместитель начальника Института развития по учебно-методической работе, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

Н. Н. КОПЕЙКИН, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела пожарной безопасности транспорта Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: knns1@mail.ru)

УДК 614.842.8:629.12+627.2

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ О ПОЖАРАХ НА СУДАХ И О ПРАКТИКЕ ИХ ТУШЕНИЯ В ПОРТАХ

На основании анализа статистики по пожарам на судах показано, что, несмотря на относительно небольшое их количество, они весьма опасны для людей, приносят значительный материальный ущерб и их сложно тушить. Проанализирована информация о практике тушения пожаров на различных типах судов в период нахождения их в портах. Сделан вывод, что пожары на них условно делятся на три группы: в жилых и служебных помещениях; в машинно-котельных отделениях; в грузовых помещениях. Рассмотрены особенности развития пожаров по группам судовых помещений. Отмечено, что на основании проведенного анализа, обобщения опыта тушения пожаров на различных типах судов и с учетом особенностей развития пожаров в различных группах судовых помещений разработаны рекомендации для подразделений Федеральной противопожарной службы МЧС России по тушению этих пожаров.

Ключевые слова: анализ информации; тушение пожаров; тушение на судах; тушение в портах; судовые помещения.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.52-60

Повышение эффективности управления подразделениями ФПС МЧС России при тушении пожаров на судах невозможно без глубокого анализа информации, касающейся существующей практики их тушения на судах различных типов.

Развитие пожаров на судах значительно отличается от аналогичных процессов на наземных сооружениях [1, 2]. Эти отличия обусловлены особенностями объемно-планировочных и конструктивных решений самих судов, наличием развитой системы вентиляции и кондиционирования воздуха, характером пожарной нагрузки и т. п., что предопределяет способы передачи тепла при пожарах, а также особенности распространения горения.

При пожарах в зависимости от температуры и соотношения проемов, работающих на приток воздуха в зону пожара и на удаление продуктов горения, устанавливается определенная скорость движения газовых потоков по судовым помещениям не только в зоне горения, но и вне ее.

Проанализируем информацию о практике тушения пожаров на различных типах судов в период нахождения их в портах.

Наливные суда

За последние годы в России резко возрос объем добычи, переработки и перевозки нефти и нефтепродуктов на море. Согласно прогнозам эта тенденция сохранится и в ближайшие годы, что обусловлено расширением разработки континентального шельфа, увеличением объемов перевозки нефти и нефтепродуктов морем в Восточной Арктике. Интенсивность судоходства, связанного с перевозкой нефтепродуктов морским транспортом, резко возрастает [3].

При нахождении наливных судов у причалов примерно в два раза повышается вероятность взрывов и пожаров в грузовых танках и грузовых насосных отделениях по сравнению со среднестатистическими данными по мировому танкерному флоту. Это объясняется высокой пожарной опасностью грузовых операций, зачистки грузовых танков от остатков наливных грузов и текущих ремонтных работ, обычно выполняемых на танкерах в порту. Пожары в танках возникают в результате столкновений судов, навалов судов на береговые сооружения, нарушений режимов проведения грузовых работ, нару-

шений правил пожарной безопасности (ППБ) при ремонтных работах, а также от ударов молний, разрядов статического электричества и по ряду других причин.

Характерными особенностями развития пожаров в грузовых танках являются:

а) высокая вероятность взрывов в период погрузо-разгрузочных работ, при столкновениях, навалах, неисправностях механизмов в машинных и насосных отделениях, а также в процессе тушения пожаров на танкерах (46 % случаев) и в грузовых танках и грузовых насосных отделениях (51 %);

б) неконтролируемые разливы нефтепродуктов из поврежденных танков (71 % случаев пожаров в грузовых танках);

в) распространение горения на слой нефтепродукта, разлитого на водную поверхность (44 % случаев пожаров в грузовых танках, 63 % случаев разлива нефтепродуктов);

г) распространение горения на пирс, другие причальные и береговые сооружения, а также на находящиеся в порту суда (56 % случаев пожаров в грузовых танках);

д) образование взрывоопасной паровоздушной смеси над грузовыми танками, над разлившимися по воде нефтепродуктами и над поверхностью земли с подветренной стороны относительно места аварии.

На втором месте по вероятности возникновения пожаров находятся машинные помещения танкеров. Здесь пожары возникают вследствие утечек топлива, неисправности электрооборудования, механизмов и котлов, нарушений ППБ при ремонтных работах и по ряду других причин. Распространению пожаров в машинных помещениях способствует высокая насыщенность их оборудованием, трубопроводами горюче-смазочных жидкостей под давлением, наличие поверхностей с высокой температурой нагрева, расходных цистерн и цистерн с запасами топлива и масел для механизмов, сепараторов и подогревателей жидкого топлива и смазочных масел, а также разветвленной сети кабельных трасс. При воспламенении горюче-смазочных материалов возникает интенсивное горение, сопровождающееся плотным задымлением и быстрым повышением температуры в аварийном помещении.

В жилых и служебных помещениях из-за их малой высоты и небольшого объема пожар сопровождается быстрым ростом среднеобъемной температуры, прогревом металлических конструкций и распространением огня в смежные помещения [4, 5].

Следует отметить различия в использовании сил и средств береговых пожарных подразделений для тушения пожаров в зависимости от места нахождения аварийного наливного судна: у причала, на рейде или на внутренних водных путях.

При нахождении аварийных танкеров у причала отмечается неэффективное использование экипажами имеющихся на борту средств пожаротушения для ликвидации пожара. Так, самостоятельно экипажам удалось ликвидировать пожары судовыми средствами только в 7 % инцидентов, представленных в выборке, еще в 7 % они покинули аварийный танкер, не применив судовые средства пожаротушения, а в 8 % — полностью или частично стали жертвами пожара, не успев покинуть аварийное судно. Экипажи аварийных наливных судов в той или иной степени участвовали в тушении пожаров на своем судне только в 33 % инцидентов. Следовательно, тяжесть борьбы с пожарами на наливных судах у причалов ложится в основном на береговые пожарные подразделения. В зависимости от сложности пожара к тушению привлекаются дополнительные силы и средства гарнизонов пожарной охраны, расположенных вблизи места инцидента.

Сложными пожарами являются пожары на газовой и химовозах. Правда, надо отметить, что флот газовой и химовозов существенно меньше, чем танкеров. После распада СССР в России не осталось морских судов этих типов, так как они перешли в собственность стран Прибалтики и Украины. В речном флоте России газовозы не эксплуатируются.

Высокая опасность взрывов при возникновении пожаров на газовой и химовозах вынуждает экипажи экстренно покидать аварийные суда, не предпринимая попыток использовать судовые средства пожаротушения, даже если пожар возникает не в грузовых танках или цистернах. Такая практика оправдана известными катастрофическими пожарами и взрывами на этих типах судов [6, 7], когда не только разрушалось судно, но и пропадал без вести весь экипаж. Даже при пожарах в порту суда рассматриваемого типа срочно прекращают грузовые операции и покидают порт. Так, например [8], от разряда статического электричества при быстром наливке танка произошел взрыв на судне ТТТ 103, вызвавший пожар и разлив нефтепродукта. Пожар распространился по разлитому нефтепродукту под пирс, что привело к разрушению трубопроводов причала. Часть экипажа с химовоза "Faraday", принимавшего груз вблизи от ТТТ 103, покинула судно, бросившись с борта в воду. Один член экипажа ТТТ 103 был выброшен взрывом за борт и получил ожоги. Ущерб от повреждения баржи и причала составил 5 млн. долл.

Пожары и взрывы на наливных судах часто сопровождаются разливами жидкого груза на водную поверхность. При тушении горящего топлива, разлитого на воде, необходимо учитывать следующее:

- растекание топлива от места утечки происходит во все стороны одинаково при отсутствии ветра и течения;

- пленка топлива, разлитого на воде, может иметь толщину от нескольких миллиметров до 10 см;
- скорость растекания негорящего топлива при отсутствии ветра и течения составляет приблизительно 800–1000 м/ч, горящего топлива при тех же условиях — 1800–2200 м/ч, т. е. в 2–2,5 раза выше.

Горение различных сортов топлива, разлитого на воде, при отсутствии ветра и волнения имеет свои особенности:

- бензин быстро испаряется и, вспыхнув, выгорает полностью;
- керосин и дизельное топливо выгорают до пленки толщиной 0,5–0,7 мм;
- мазуты выгорают до пленки толщиной 0,9–1,7 мм; во время горения при прогреве поверхностного слоя воды мазут выбрасывается с водяным паром на значительную высоту, что сопровождается интенсификацией горения;
- при волнении моря до 2 баллов топливо, свободно плавающее на воде, горит почти по всей поверхности пленки, за исключением мазутов, которые охватываются пламенем в центре пленки на 45–50 % ее общей площади;
- при волнении моря до 3–4 баллов пленка горящего топлива распадается на отдельные горящие части, дрейфующие по направлению ветра и течения;
- при волнении моря 5 баллов и выше пленка нефти образует с водой на гребнях волн эмульсию и не горит;
- топливо, разлитое на ограниченной площади, например на акватории порта, быстро затекает в щели между судами и сваями причалов, что создает дополнительные трудности при его тушении [9].

Топливо, разлитое на воде, тушат в тех случаях, когда пламя препятствует подходу спасательных судов к аварийному судну или возникает угроза распространения пламени на соседние объекты. Тушение горячей на воде пленки топлива проводится сплошными струями воды из лафетных стволов таким образом, чтобы из горячей пленки топлива образовалась негорючая водно-топливная эмульсия. В результате перемешивания с водой топливо охлаждается, замедляется выделение горючих паров и горение прекращается. На ограниченных площадях эффективное тушение горячей на воде топливной пленки достигается распыленными струями воды и пеной. При этом пожарные суда и буксиры выстраиваются у кромки горящего топлива с наветренной стороны и постепенно по мере прекращения горения у кромки продвигаются к центру разлива. Процесс тушения можно интенсифицировать путем расчленения мощными водяными струями

Таблица 1. Данные о погибших и травмированных при пожарах на различных типах судов [10]

Тип судна	Количество пожаров	Число пострадавших при пожарах	
		погибших	травмированных
Танкер	32	365	133
Газовоз	4	10	3
Химовоз	1	23*	—

* Экипаж из 23 чел. пропал без вести.

горящего пятна топлива на более мелкие разрозненные участки [9].

При больших площадях разлива целесообразно ограничивать распространение топлива по водной поверхности с помощью боновых ограждений и препятствовать распространению горения на другие объекты подачей мощных струй воды [9].

При пожарах и взрывах на судах часто гибнут люди (члены экипажей, обслуживающий персонал портов, пожарные) (табл. 1).

Пассажирские суда

При пожарах на пассажирских судах, как показывает практика, необходимо в первую очередь спасать пассажиров и одновременно принимать меры по их защите от опасных факторов пожара и по предотвращению распространения пожара по судну. В противном случае не избежать многочисленных человеческих жертв. Так, например, случилось на пассажирском судне “Приамурье”, пожар на котором быстро распространился по надстройке. Пассажиры покинули судно через 20 мин, но 11 пассажиров не смогли самостоятельно выбраться из помещений на нижней палубе и погибли, один пассажир пропал без вести, 43 чел. получили травмы [7, 11]. Еще более трагичная ситуация сложилась на пассажирском пароме “Scandinavian Star”, где жертвами пожара стали 156 пассажиров и 2 члена экипажа. Из них только 10 чел. погибли от прямого воздействия огня, а остальные — от отравления продуктами горения [12].

Большую опасность для пассажиров представляет столкновение пассажирских судов с танкерами. Так, пожар, возникший после столкновения пассажирского парома “Moby Prince” со стоявшим на якоре танкером, унес жизни 141 чел., находившихся на пароме. Удалось спастись лишь одному члену экипажа, выброшенному за борт в момент столкновения. Экипаж танкера спасся, воспользовавшись шлюпкой. Горящий танкер, разрушенный взрывами, затонул [13, 14].

Тушение пожаров в надстройках пассажирских судов связано с серьезными трудностями, даже если на борту отсутствуют пассажиры. Например, тушение на грузопассажирском судне “Леди Хелен” про-

должалось более суток. Пожар был ликвидирован лишь после полного выгорания судна.

Серьезную опасность на пассажирских паромах представляют гаражи для личных автомобилей пассажиров. Наличие топлива в их баках при возникновении возгорания способствует быстрому распространению пожара по помещению. Например, пассажирский паром “Сол Принс” затонул после взрыва в кормовом гараже [15].

Необходимо подчеркнуть специфическую особенность тушения пожаров и спасения людей на пассажирских паромах с горизонтальным способом грузообработки. Такие суда теряют остойчивость при попадании воды в трюмы, простирающиеся от переборки форпика до кормы. В результате возникает быстро нарастающий крен, препятствующий спуску шлюпок и спасательных плотов и тем самым спасению пассажиров. Вскоре после этого судно ложится на борт, если находится у причала, или переворачивается на глубокой воде.

Рыбопромысловые суда, рыбообрабатывающие базы

Сравнительный анализ статистических данных по пожарам на рыбопромысловых судах Северного бассейна за 1979–2007 гг. [16] показал, что 75 % всех пожаров происходит при стоянке судов в порту и на судоремонтных предприятиях.

Отмеченные выше особенности тушения пожаров на пассажирских судах характерны и для плавучих рыбообрабатывающих баз, на борту которых, кроме судового экипажа, находятся рабочие, занятые на обработке морепродуктов.

Продолжительность пожаров в среднем составляет:

- в машинных помещениях — 5 ч;
- в надстройках — 19,7 ч;
- в грузовых помещениях — 66 ч.

В среднем за рассматриваемый период количество пожаров составило менее 10 %, а число жертв пожаров — 22 % от всех аварийных случаев. Большинство пожаров в период 1998–2000 гг. (около 65 %) происходило в порту, когда на борту, как правило, оставалась только вахтенная служба и производились ремонтные работы.

Сухогрузы

В многочисленную группу сухогрузов входят разнообразные типы судов:

- универсальные сухогрузные суда для перевозки генеральных (штучных) грузов;
- суда (балкеры) для перевозки навалочных (бестарных) грузов, в том числе специализированные (рудовозы и углевозы);
- контейнеровозы для перевозки грузов в контейнерах;

- суда с горизонтальной грузообработкой для перевозки колесных грузов и накатной техники;
- рефрижераторные суда для перевозки скоропортящихся грузов;
- лесовозы — специализированные суда для перевозки лесных грузов (круглого леса, пиломатериалов россыпью, в пакетах и блоках);
- комбинированные суда (нефтерудовозы, нефтесухогрузы) для перевозки грузов различных типов;
- грузопассажирские суда для перевозки и пассажиров, и грузов.

К грузопассажирским судам относятся: а) грузовые суда, имеющие помещения для размещения 12 и более пассажиров; б) пассажирские суда, имеющие грузовые трюмы. Обычно это паромы — суда, предназначенные для перевозки людей и транспортных средств. По назначению различают железнодорожно- и автомобильно-пассажирские паромы.

Статистические данные показывают, что в мировом флоте сухогрузов пожары и взрывы в машинных помещениях составляют 12 %, в других судовых помещениях — 6 % от всех аварийных случаев [7].

Согласно [17] начиная с 1990-х гг. отечественная статистика не дает полной картины по авариям судов, однако имеются общемировые статистические данные по авариям, в том числе с гибелью судов. Например, в соответствии с ней за многолетний период количество пожаров на судах составляет около 8 % всех аварий, а число погибших в результате пожаров — от 14 до 26 % от всех аварийных случаев.

В табл. 2. приводятся данные по общемировой статистике аварий за 2005–2008 гг. [17].

Краткие выводы

Анализ информации о пожарах на судах показал, что, несмотря на многообразие типов судов, пожары, возникающие на них, условно делятся на три группы:

- пожары в жилых и служебных помещениях;
- пожары в машинно-котельных отделениях;
- пожары в грузовых помещениях.

Рассмотрим особенности развития пожаров по группам судовых помещений.

Жилые и служебные помещения

Жилые и служебные помещения, расположенные в надстройке на разных палубах, соединяются между собой при помощи разветвленной сети коридоров, траповыми маршами и шахтами. Как правило, выход из жилых и служебных помещений на открытую палубу осуществляется только через коридоры.

Особенностями развития пожара в жилых и служебных помещениях являются:

Таблица 2. Данные по общемировой статистике аварий морского торгового флота за 2005–2008 гг.

Тип аварий	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	В среднем за год	
					Число случаев	% от общего числа аварий
Повреждение корпуса или механизмов	438	394	534	521	471	33,3
Столкновения с судами	237	276	336	375	306	21,6
Снос (выброс), посадка на мель	235	308	393	372	327	23,1
Столкновения с какими-либо объектами (кроме судов)	133	144	165	188	158	11,1
Пожары, взрывы	95	100	117	119	108	7,6
Затонувшие суда	4	51	54	38	37	2,6
Смещение груза	5	9	4	2	5	0,4
Пропажа судов	1	0	2	2	1	0,1
Повреждение или потеря судна в результате военных или других боевых действий	2	1	4	6	3	0,2
Общее количество аварий	1150	1283	1609	1623	1416	100,0

- наличие горючих веществ и материалов и, как следствие, быстрое задымление помещений;
- наличие скрытых путей распространения пожара (воздуховоды системы вентиляции и кондиционирования воздуха, пустоты за обшивкой переборок и т. п.).

С учетом этих особенностей распространение горения при пожарах протекает по следующей типовой схеме.

Возникнув в помещении каюты, пожар из-за малой высоты помещения и распределения пожарной нагрузки по всем поверхностям в течение 10 мин принимает объемный характер и через открытую дверь каюты (а если она закрыта, после прогорания ее или ограждающих переборок) распространяется в коридор. Далее горение развивается по отделке и теплоизоляции коридора, по наклонным и вертикальным трапам вверх, распространяясь на помещения вышерасположенных палуб. Воздуховоды системы вентиляции и кондиционирования воздуха, пустоты за обшивкой переборок, бортов и подволоки также являются путями распространения горения при пожарах в жилых и служебных помещениях.

При пожарах, протекающих с недостаточными для горения условиями газообмена, возможно образование в помещениях взрывоопасных концентраций продуктов неполного сгорания, в результате взрыва которых возникают дополнительные пути распространения горения.

Скорость распространения горения по помещению составляет 0,7–2,7 м/мин, по коридорам — 0,7–1,8 м/мин, по трапам в вертикальном направлении — 2,5 м/мин. В зависимости от материала перегородок время распространения горения из каюты в каюту через межкаютные перегородки колеблется от 10 до 25 мин. Время распространения горения

вследствие прогрева судовых конструкций, изолированных различными теплоизоляционными материалами, составляет 15–60 мин и зависит от вида, толщины слоя и качества исполнения изоляции на конструкции. Неизолированные металлические судовые конструкции выдерживают тепловое воздействие не более 10 мин.

Машинно-котельные отделения

Машинно-котельные отделения (МКО), как правило, имеют не менее двух выходов в коридоры жилой надстройки. Кроме того, помещения связаны с надстройкой через вентиляционные каналы и другие коммуникации.

Основными причинами пожаров в МКО являются [18]:

- воспламенение топлива или масла от нагретых поверхностей и открытого огня;
- неисправность электросети и перегрузка фидеров в главном распределительном щите (ГРЩ);
- неисправность котлов и выхлопного тракта двигателей;
- нарушение эксплуатации энергетических установок;
- огневые работы.

При возникновении пожара в МКО продукты горения быстро заполняют его, нагревая оборудование и переборки. Через неплотности дверей, открытые иллюминаторы, воздуховоды системы вентиляции дым распространяется в другие помещения. Скорость распространения горения по МКО составляет 8,0–10,0 м/мин.

При горении разлившегося топлива на площади 3–5 м² задымление машинно-котельного отделения происходит в течение 2–3 мин. При этом температура пожара через 10 мин достигает 400 °С, в резуль-

тате чего воспламеняются краски и другие материалы, прилегающие к переборкам в смежных с МКО помещениях. Средняя температура в МКО при развившихся пожарах достигает 800–1000 °С, что создает угрозу взрыва воздушных баллонов и топливных емкостей.

Распространение горения в МКО происходит главным образом в вертикальном направлении вследствие создающегося во время пожара газообмена. Во всех случаях пожар распространяется на жилые и служебные помещения надстройки при наличии открытых отверстий за 20–30 мин, после чего практически вся надстройка оказывается охваченной огнем.

Грузовые помещения

Характер развития пожара в грузовых помещениях (трюмах), как правило, определяется свойствами перевозимого груза, его упаковкой и размещением в трюме.

За исключением пожаров ЛВЖ и ГЖ, активного горения в закрытых трюмах из-за недостатка кислорода практически не происходит. В начальный период пожара скорость распространения горения по трюму составляет всего 0,01–0,02 м/мин, поэтому температура в нем повышается медленно. В смежные трюмы пожар распространяется чаще всего за счет воспламенения груза от сильно нагретой переборки. Процесс тления и термического разложения груза в условиях недостатка кислорода приводит к образованию в трюме продуктов неполного сгорания и их возможному взрыву в случае открывания трюма.

Пожар волокнистых материалов (хлопок и т. п.) может продолжаться несколько суток, если горение возникло внутри слоя материала.

В табл. 3 приведены данные по продолжительности тушения пожара, полученные на основе анализа статистических данных.

По имеющимся данным максимальная продолжительность тушения пожаров за последние 25 лет составляет: в жилых помещениях — около 15 ч, МКО — 56 ч, грузовых — 290 ч. Такой разброс обуславливается размерами помещений, размером и распределением пожарной нагрузки, условиями вентиляции и способами тушения.

Таблица 3. Продолжительность тушения пожара в различных помещениях с вероятностью 25 %

Продолжительность тушения пожаров, ч, в помещениях			Вероятность тушения, %
жилых	МКО	грузовых	
< 0,7	< 0,4	< 2,0	< 25
0,7–2	0,4–2	2,0–14	25–50
2–6	2–7	14–90	50–70
> 6	> 7	> 90	> 75

При оперативном начале тушения вероятность тушения пожара в первые 2 ч составляет: для жилых помещений — 50 %, МКО — 50 %, грузовых — 25 %. Для грузовых помещений тушение пожара с вероятностью 50 % достигается за 14 ч. Продолжительность тушения пожара с вероятностью 25 % может превысить: для жилых помещений — 6 ч, МКО — 7 ч, грузовых — 90 ч.

Анализ информации о пожарах на судах показал также, что масштабы и последствия пожаров зависят от конструктивных особенностей судов, перевозимого груза, систем противопожарной защиты, сосредоточения необходимого количества сил и средств и от оперативности принимаемых решений [19].

На основании анализа информации о пожарах на судах, находящихся в портах, обобщения опыта тушения пожаров на различных типах судов и с учетом особенностей развития пожаров в различных группах судовых помещений [20] Научно-исследовательским институтом перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности (НИИПИиИТвОБЖ) Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России были разработаны «Рекомендации для подразделений ФПС МЧС России по тушению пожаров на наземных береговых сооружениях портов и судах, находящихся у причалов и пристаней морских портов и на внутренних водных путях». Применение этих рекомендаций на практике должно способствовать повышению эффективности управления подразделениями ФПС МЧС России при тушении пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cherng-Shing Lin, Shih-Cheng Wang, Te-Chi Chen.* Computer modeling and simulation of a town-house fire dynamic field characteristics // IEEE Symposium on Electrical & Electronics Engineering (EESYSYM). — 2012. — P. 113–116. DOI: 10.1109/EESYSYM.2012.6258601.
2. *Fernandez A. A., Jacobs D., Keating C., Kauffman P.* AHP and the assessment of community fire risk in the city of Hampton, Virginia // PICMET'99: Portland International Conference on Management of Engineering and Technology. Proceedings. — 1999. — Vol. 1. — P. 232. DOI: 10.1109/PICMET.1999.808153.

3. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2013 году : материалы в ежегодный государственный доклад. — М. : Министерство транспорта РФ, 2014. — 44 с.
4. Birkenhead P. The Wreck removal Operation of the m. t. Betelgeuse // Marine Technology Society Journal. — 1990. — Vol. 18, No. 2. — P. 34–46.
5. Взрывы и пожар 06.03.1985 г. на танкере “Людвик Свобода” // Известия. — 31.03.1985.
6. Аварийность мирового флота // Морской флот. — 1989. — № 2. — С. 65.
7. Аварийность мирового флота // Морской флот. — 1989. — № 9. — С. 49.
8. Barge explosion at Pascagoula Refinery // Hazardous Cargo Bulletin. — 1987. — Vol. 8, No. 9. — P. 106, 109.
9. Fire Casualty Record No. 285/29. — International Maritime Organization, FP/368. — 2 p.
10. Зычков Э. А., Копейкин Н. Н., Потанин Б. В. Организация тушения пожаров на судах, находящихся у причалов и пристаней морских портов // Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах : XX Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию создания института. — М. : ВНИИПО, 2007. — С. 154–157.
11. Молчанов В. Причины и следствия // Пожарное дело. — 1989. — № 7. — С. 35–36.
12. The Scandinavian Star Disaster of 7 April 1990 // NOR 1991:1 E. — Oslo : Government Printing Service, 1991. — 211 p.
13. Типичные аварийные случаи с судами нефтеналивного флота. — СПб. : ЦНИИМФ, 1994. — 90 с.
14. Морская статистика // Морской транспорт. Сер.: Судовождение, связь и безопасность мореплавания. Экспресс-информация. — 1994. — Вып. 5(300). — С. 33–40.
15. Аварийность мирового флота // Морской флот. — 1991. — № 11. — С. 37.
16. Подобед В. А., Панкратов А. А. Анализ пожаров на судах рыбопромыслового флота Северного бассейна // Вестник МГТУ. — 2011. — Т. 14, № 4. — С. 728–732.
17. Любимов Е. В., Микушов А. В., Орлов Г. В. Опасности, возникающие при тушении судовых пожаров водой в Арктике // Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. — 2015. — Вып. 1. — С. 47–52.
18. Кузнецов С. А., Фесенко Ю. С., Халупенко В. А., Жаворонков В. В., Халупенко А. В. Подготовка специалистов по борьбе с пожаром : учебно-методическое пособие // Библиотека журнала “Торговое мореплавание”. Сер.: Правовое регулирование торгового мореплавания. — 2005. — № 21/II. — 56 с.
19. Андреев В. А., Гитцович А. В., Зычков Э. А., Копейкин Н. Н., Потанин Б. В. Разработка требований по охране труда при несении службы в дежурных караулах пожарной охраны портов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2011. — № 3. — С. 80–85.
20. Андреев В. А., Зычков Э. А., Копейкин Н. Н., Потанин Б. В. Вопросы тушения пожаров на наземных береговых сооружениях портов и судах, находящихся у причалов и пристаней морских портов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2008. — № 3. — С. 75–81.

Материал поступил в редакцию 24 октября 2016 г.

Для цитирования: Шарапов С. В., Крутолапов А. С., Копейкин Н. Н. Анализ информации о пожарах на судах и о практике их тушения в портах // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 52–60. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.52-60.

English

INFORMATION ANALYSIS OF THE FIRES ON VESSELS AND OF PRACTICE OF THEIR SUPPRESSION IN PORTS

SHARAPOV S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Research Institution of Perspective Researches and Innovative Technologies in the Field of Health and Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

KRUTOLAPOV A. S., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Head of Institute of Development in Educational and Methodical Work, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

KOPEYKIN N. N., Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific, Senior Researcher of Department of Fire Safety of Transport of Research Institution of Perspective Researches and Innovative Technologies in the Field of Health and Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: knns1@mail.ru)

ABSTRACT

The growing of effective control of guards of Federal Firefighting Service of Emercom of Russia in case of fire fighting operations on ships is impossible without deep analysis of information which prospect of present practice of fire fighting of ships of various types of ships.

Such differences are caused by features of space-planning and constructive solutions of courts, existence by the developed system of ventilation and air conditioning, character of fire loading, etc. that predetermines ways of transfer of heat at the fires, and also features of distribution of burning.

In article information on practice of suppression of the fires on various types of vessel during stay them in ports is analyzed. From this analysis the conclusion is drawn that despite variety of types of vessel, the fires arising on them are conditionally divided into three groups: the fires in residential and service premises; the fires in machine and boiler departments; the fires in stowage spaces.

Features of development of the fires in groups of ship rooms are considered.

The analysis of information on the fires in courts also showed that scales and consequences of the fires depend on design features of courts, the transported freight, fire protection systems, concentration of necessary number of forces and means and on efficiency of the made decisions.

It is noted that based on the carried-out analysis of information on the fires in the courts which are in ports of generalization of experience of suppression of the fires on various types of vessel and taking into account features of development of the fires in various groups of ship premises there are worked out "The recommendations for divisions of Federal Firefighting Service Emercom of Russia about suppression of the fires on land inshore facilities of the ports and courts which are at moorings and piers of seaports and on inland waterways" which application in practice shall promote increase in effective management of divisions of FPS Emercom of Russia in case of suppression of the fires.

Keywords: information analysis; fire extinguishing; suppression of court fires; suppression of fires at ports; court premises.

REFERENCES

1. Cherng-Shing Lin, Shih-Cheng Wang, Te-Chi Chen. Computer modeling and simulation of a town-house fire dynamic field characteristics. *IEEE Symposium on Electrical & Electronics Engineering (EESYM)*, 2012, pp. 113–116. DOI: 10.1109/EESYM.2012.6258601.
2. Fernandez A. A., Jacobs D., Keating C., Kauffman P. AHP and the assessment of community fire risk in the city of Hampton, Virginia. *PICMET'99: Portland International Conference on Management of Engineering and Technology. Proceedings*, 1999, vol. 1, pp. 232. DOI: 10.1109/PICMET.1999.808153.
3. *About a condition of protection population and territories of the Russian Federation from emergency situations of natural and technogenic character in 2013. Materials in the annual state report*. Moscow, Ministerstvo transporta RF Publ., 2014. 44 p. (in Russian).
4. Birkenhead P. The Wreck removal Operation of the m. t. Betelgeuse. *Marine Technology Soc. Journal*, 1990, vol. 18, no. 2, pp. 34–46.
5. Explosions and the fire 06.03.1985 on the tanker "Ludwik Svoboda". *Izvestiya (News)*, 31.03.1985 (in Russian).
6. Accident rate of the world fleet. *Morskoy flot (Navy)*, 1989, no. 2, p. 65 (in Russian).
7. Accident rate of the world fleet. *Morskoy flot (Navy)*, 1989, no. 9, p. 49 (in Russian).

8. Barge explosion at Pascagoula Refinery. *Hazardous Cargo Bulletin*, 1987, vol. 8, no. 9, pp. 106, 109.
9. *Fire Casualty Record No. 285/29*. International Maritime Organization, FP/368. 2 p.
10. Zychkov E. A., Kopeykin N. N., Potanin B. V. Organization of suppression of the fires in the courts which are at moorings and piers of seaports. In: *Historical and modern aspects of the problem resolution of burning, suppression and safety of people in case of the fires. Proceedings of XX International Scientific and Practical Conference devoted to the 70 Anniversary of Creation of an Institute*. Moscow, VNIPO Publ., 2007, pp. 154–157 (in Russian).
11. Molchanov V. Causes and effects. *Pozharnoye delo (Fire Business)*, 1989, no. 7, pp. 35–36 (in Russian).
12. *The Scandinavian Star Disaster of 7 April 1990. NOR 1991:1 E*. Oslo, Government Printing Service, 1991. 211 p.
13. *Typical accidents with vessels of the bulk-oil fleet*. Saint Petersburg, TsNIIMF Publ., 1994. 90 p. (in Russian).
14. Sea statistics. *Morskoy transport. Ser.: Sudovozhdeniye, svyaz i bezopasnost moreplavaniya. Ekspress-informatsiya (Marine Transport. Series: Navigation, Communication and Safety of Navigation. Express Information)*, 1994, issue 5(300), pp. 33–40 (in Russian).
15. Accident rate of the world fleet. *Morskoy flot (Navy)*, 1991, no. 11, p. 37 (in Russian).
16. Podobed V. A., Pankratov A. A. The analysis of the fires on vessels of the fishery fleet of the Northern basin. *Vestnik MGTU (Vestnik of MSTU)*, 2011, vol. 14, no. 4, pp. 728–732 (in Russian).
17. Lyubimov E. V., Mikushov A. V., Orlov G. V. Dangers arising at suppression of the ship fires by water in the Arctic. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii (Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia)*, 2015, issue 1, pp. 47–52 (in Russian).
18. Kuznetsov S. A., Fesenko Yu. S., Khalupenko V. A., Zhavoronkov V. V., Khalupenko A. V. Training in fire fighting: Training and methodological manual. *Biblioteka zhurnala "Torgovoye moreplavaniye". Seriya: Pravovoye regulirovaniye torgovogo moreplavaniya (Library Journal "Merchant Shipping". Series: Legal Regulation of Merchant Shipping)*, 2005, no. 21/II. 56 p. (in Russian).
19. Andreev V. A., Gittsoyich A. V., Zychkov E. A., Kopeykin N. N., Potanin B. V. Annotated contents the development of labour protection requirements during the performance of duties at ports fire service watches on duty. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy (Safety and Emergencies Problems)*, 2011, no. 3, pp. 80–85 (in Russian).
20. Andreev V. A., Zychkov E. A., Kopeykin N. N., Potanin B. V. The problems of extinguishing fires at ground coastal constructions of ports and at vessels, standing beside sea ports' berths and quays. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy (Safety and Emergencies Problems)*, 2008, no. 3, pp. 75–81 (in Russian).

For citation: Sharapov S. V., Krutolapov A. S., Kopeykin N. N. Information analysis of the fires on vessels and of practice of their suppression in ports. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 52–60. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.52-60.

С. В. СОКОЛОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: albrus-ssv1@yandex.ru)

Д. В. КОСТЮЧЕНКО, канд. техн. наук, старший преподаватель-методист факультета подготовки научно-педагогических кадров, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: d.v.kost@mail.ru)

УДК 614.8(470)

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ГИБЕЛИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ В ЖИЛЫХ ДОМАХ ГОРОДСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ

Представлены результаты исследования факторов, влияющих на величину рисков гибели людей при пожарах в жилых домах городских поселений. Рассмотрены такие факторы, как время прибытия пожарных подразделений к месту пожара; наличие средств пожарной автоматики в жилых домах; сроки эксплуатации жилых зданий. Установлено, что при существующих условиях время прибытия пожарных подразделений к месту пожара не оказывает существенного влияния на снижение риска гибели людей при пожарах в жилых домах городских поселений. Показано, что средний риск гибели при пожарах в жилых домах, оборудованных средствами пожарной автоматики, примерно в 2,5 раза ниже, чем в необорудованных. При исследовании структуры отечественного городского жилищного фонда установлено, что с увеличением удельного веса жилых домов, имеющих длительные сроки эксплуатации, для живущих в них людей возрастают средние значения рисков столкнуться с пожаром и погибнуть при пожаре. На основе результатов исследований предложены организационно-технические мероприятия по снижению (как минимум в 2,5 раза) региональных рисков гибели людей при пожарах в жилых домах. Определены подходы к социально-экономическому обоснованию мер по обеспечению пожарной безопасности в жилых домах городских поселений и их реализации, которые позволяют избежать дополнительных расходов как со стороны собственников жилых помещений, так и из бюджетов различных уровней.

Ключевые слова: пожарная статистика; пожарный риск; время прибытия; пожарная автоматика; управление рисками.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.61-74

По данным официальной статистики вероятность столкнуться с пожаром для среднестатистического жителя России значительно ниже, чем в среднем по миру (в связи с национальными особенностями правил учета пожаров), а вероятность погибнуть при пожаре в несколько раз превышает среднемировые показатели.

В России значения рисков для среднестатистического жителя погибнуть при пожаре относительно 100 регистрируемых пожаров превышают среднемировые более чем в 17 раз, а риск гибели относительно 100 тыс. населения — более чем в 6 раз [1–4].

В настоящей статье рассмотрены следующие пожарные риски:

- R_1 — риск для человека столкнуться с пожаром в течение года относительно 1000 чел. (пожаров/ 10^3 чел.);
- R_2 — риск для человека погибнуть при пожаре в течение года относительно 100 пожаров (жертв/100 пожаров);

- R_3 — риск для человека погибнуть при пожаре в течение года относительно 100 тыс. чел. (жертв/ 10^5 чел.).

Высокие значения рисков в РФ объясняются высоким уровнем гибели людей при пожарах в жилом секторе, который превышает 92 % всех погибших на пожарах людей. Например, величина риска R_2 для жилых домов почти в 5 раз, а риска R_3 — в 6,5 раз выше, чем для всех других типов зданий и сооружений страны вместе взятых [5–7].

Большинство жертв пожаров в РФ (более 90 % всех погибших при пожарах) приходится на начальный период развития пожара, т. е. до прибытия пожарных подразделений. При этом более 70 % от общего числа жертв пожаров погибает ежегодно в результате воздействия продуктов горения.

Таким образом, для решения проблемы по снижению рисков гибели людей при пожарах в первую очередь необходимо снизить указанные риски в жилом секторе (в частности, разработать комплекс

организационно-технических мероприятий по снижению степени влияния опасных факторов пожара (ОФП) на человека в жилых домах уже с первых минут развития пожара).

Для решения этой проблемы авторами статьи был проведен ряд исследований по выявлению факторов, влияющих на величину рисков гибели людей при пожарах в жилых домах городских поселений. К таким факторам относятся: время прибытия пожарных подразделений к месту пожара; наличие средств пожарной автоматики (ПА) в жилых домах; сроки эксплуатации жилых зданий [8–10]. Ниже представлены обобщенные результаты проведенных исследований.

Для оценки степени влияния времени прибытия пожарных подразделений (далее — ПП) к месту вызова на изменение величины риска R_2 в жилом секторе и жилых домах городских поселений были обработаны данные карточек учета пожаров в жилом секторе и многоквартирных жилых домах городских поселений в 7 субъектах РФ за период с 2005 по 2014 гг. (табл. 1).

В итоге было установлено распределение значений риска R_2 в зависимости от времени прибытия первого ПП к месту вызова. Результаты исследования представлены на рис. 1.

В соответствии с полученным распределением независимо от времени прибытия первых ПП к месту вызова значения риска R_2 практически не изменяются и составляют в среднем около 10 погибших относительно 100 пожаров, происшедших в жилых домах. Одной из основных причин отсутствия такой,

казалось бы, очевидной зависимости является гибель большинства людей на начальной стадии развития пожара.

Поясним это на следующем примере. Проинтерполируем значения риска между моментом возникновения пожара, когда риск гибели равен 0, до момента прибытия первого ПП к месту вызова, используя данные табл. 1. График, представленный на рис. 1, будет тогда выглядеть так, как показано на рис. 2. На рисунке синим цветом выделены экспертные значения риска R_2 в промежутке времени с момента возникновения пожара до его обнаружения, желтым — значения риска R_2 в промежутке времени с момента обнаружения пожара до сообщения о нем.

Следовательно, ПП, которые прибывают согласно статистике через 1 мин после поступления сообщения о пожаре, фактически прибывают к месту вызова при самом оптимистичном варианте развития событий через 8–9 мин после возникновения пожара (около 1 % прибывших ПП). В 3 % случаев пожаров прибытие ПП приходится на 9-ю минуту развития пожара, в 7 % — на 10-ю, в 9 % — на 11-ю, а в подавляющем большинстве случаев (около 80 %) прибытие к месту вызова составляет свыше 12 мин после возникновения пожара.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: когда на 3–4-й минуте развития пожара один из ОФП (продукты горения или пониженная концентрация кислорода) начинает действовать на людей, находящихся в помещении, в результате чего погибает более 70 % людей, время прибытия ПП к месту пожара не оказывает значительного влияния на сни-

Таблица 1. Показатели оперативного реагирования ПП в РФ (среднее за 2005–2014 гг.)

Показатель	Среднее время оперативного реагирования ПП, мин				
	от возникновения до обнаружения пожара (экспертная оценка)	от обнаружения до сообщения о пожаре	от сообщения до прибытия первого ПП	от прибытия до подачи первого ствола	от возникновения до подачи первого ствола (экспертная оценка)
Все пожары	4,0–5,0	5,9	11,6	1,5	24,0–25,0
Пожары в городах	3,0–4,0	4,0	7,9	1,7	17,0–18,0
Пожары в селах	5,0–6,0	8,0	17,7	1,3	34,0–35,0

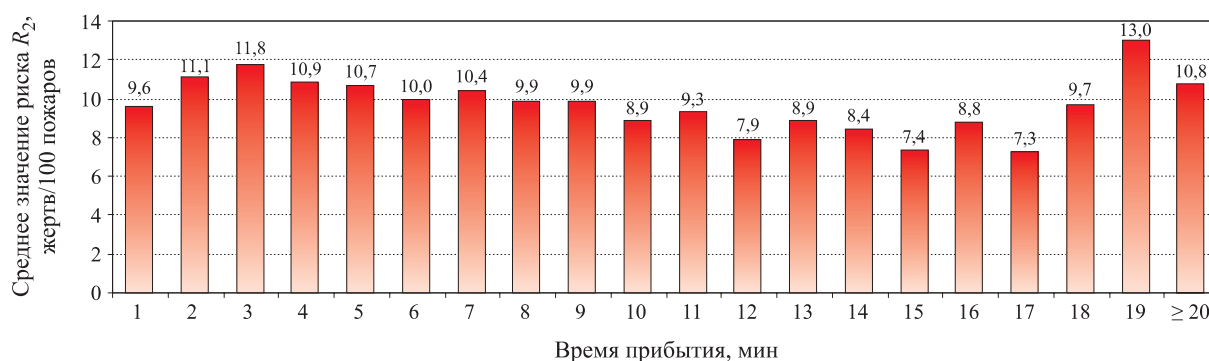


Рис. 1. Распределение риска R_2 для жилых домов городских поселений в зависимости от времени прибытия первых ПП ($t_{\text{приб}} - t_{\text{сообщ}}$) к месту вызова

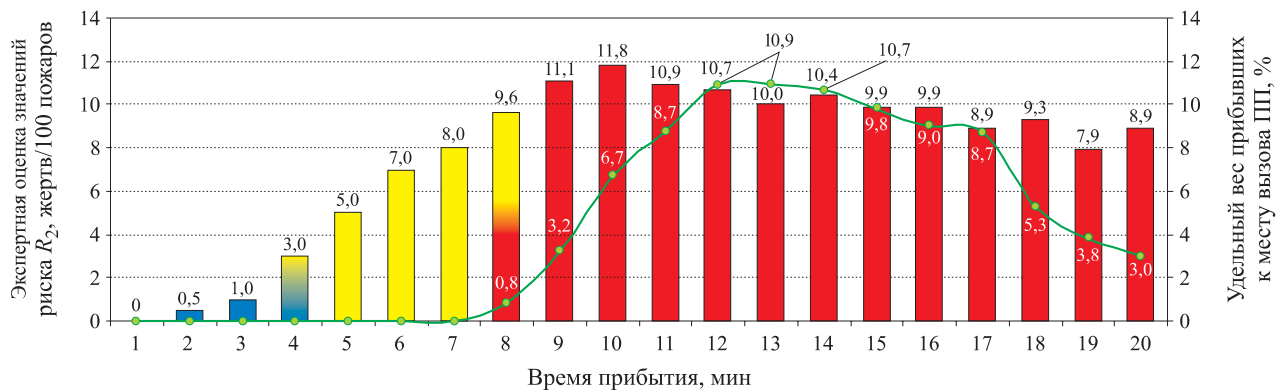


Рис. 2. Экспертная оценка распределения значений риска R_2 для жилых домов городских поселений и распределение удельного веса прибывших к месту вызова ПП с момента возникновения пожара (кривая) в зависимости от времени их прибытия ($t_{\text{приб}} - t_{\text{сообщ}} - t_{\text{обн}} - t_{\text{возн}}$)

жение значений риска R_2 , так как в лучшем случае ПП смогут прибыть только через 8–9 мин после возникновения пожара.

Именно поэтому для снижения риска гибели людей при пожарах необходимо сократить время с момента возникновения пожара до обнаружения и сообщения о пожаре, а при существующих условиях это возможно только с помощью применения средств пожарной автоматики.

Далее представлены результаты статистического анализа работоспособности различных средств ПА и количественная оценка их влияния на величину риска R_2 для жилых домов городских поселений в период 2008–2014 гг.

При исследовании было установлено, что при пожарах средства ПА свою непосредственную задачу выполняли в среднем в 40 % случаев, из них только в 1,6 % средства ПА были включены, но поставленную задачу не выполняли, а в остальных случаях (около 60 %) были или отключены, или находились в неработоспособном состоянии (табл. 2, рис. 3).

На основании данных, представленных на рис. 3, можно сделать вывод, что при существующем положении, когда более чем в 60 % случаев автоматические системы пожарной безопасности находились в неисправном или неработоспособном состоянии, средняя величина риска R_2 для жилого дома, оборудованного каким-либо из видов средств ПА, в 2,5 раза ниже, чем в необорудованных.

Аналогичные результаты наблюдаются и в других странах, где приняты законы об обязательном оборудовании всех жилых помещений автономными пожарными извещателями [5, 6]. Так, 96 % домов в США, 85 % — в Великобритании и 100 % — в Канаде оснащены автономными дымовыми пожарными извещателями, благодаря чему в этих странах достигнуты значительные темпы снижения риска гибели людей при пожарах.

На следующем этапе исследований определялась зависимость основных пожарных рисков R_1 , R_2 и R_3 от сроков эксплуатации городского жилищного фонда [7]. В результате было установлено, что при увеличении удельного веса городского жилищного фонда с длительными сроками эксплуатации возрастают и средние значения риска R_1 : от минимального — 0,2 пожара на 1 тыс. жителей при удельном весе городского жилищного фонда со сроками эксплуатации более 40 лет до 30 % до максимального — 1,0 пожар на 1 тыс. жителей при удельном весе жилищного фонда со сроками эксплуатации свыше 40 лет более 75 % (рис. 4,а).

На рис. 4,б представлена динамика распределения фактических средних значений риска R_2 в зависимости от удельного веса городского жилищного фонда со сроками эксплуатации более 40 лет. Было установлено, что с увеличением удельного веса городского жилищного фонда с длительными сроками эксплуатации возрастают и средние значения

Таблица 2. Результаты исследования работы средств ПА при пожарах в зданиях жилого назначения (2005–2014 гг.)

Показатель	Общее число пожаров	Общее число погибших, чел.	R_2 , жертв 100 пожаров	Задачу выполнила	Задачу не выполнила				
					Итого	в том числе			
						Сработала, но задачу не выполнила	Не сработала	Не включена	Прочие причины
Количество пожаров	6189	361	5,83	2476	3713	100	2642	935	36
Удельный вес случаев, %				40,01	59,99	1,62	42,69	15,11	0,58

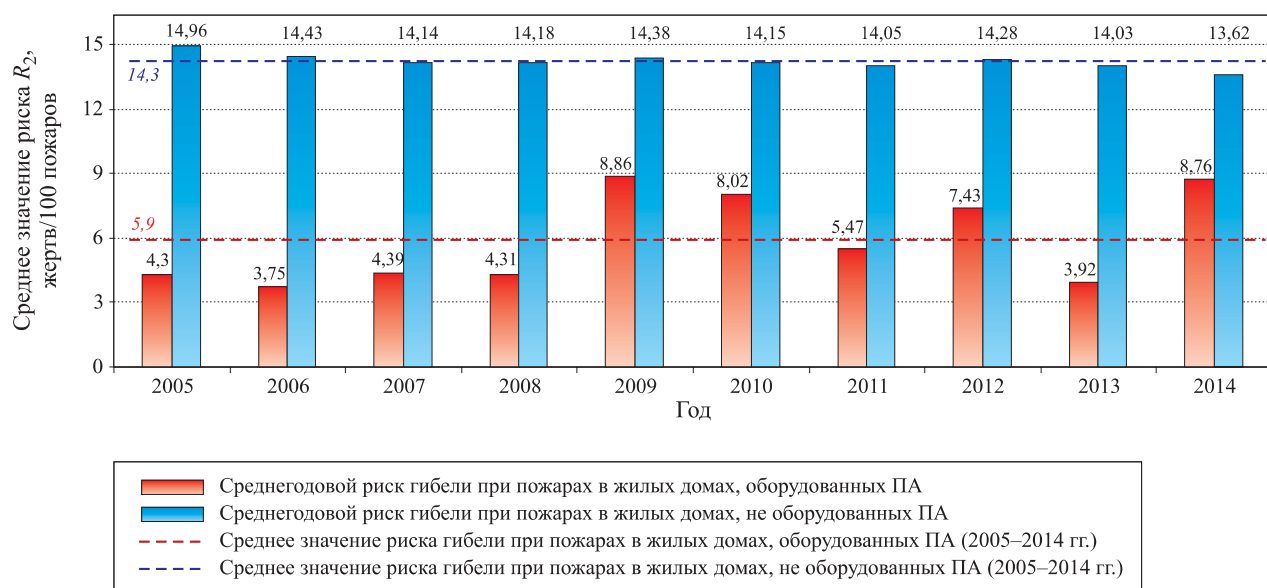


Рис. 3. Значения риска R_2 для зданий жилого назначения

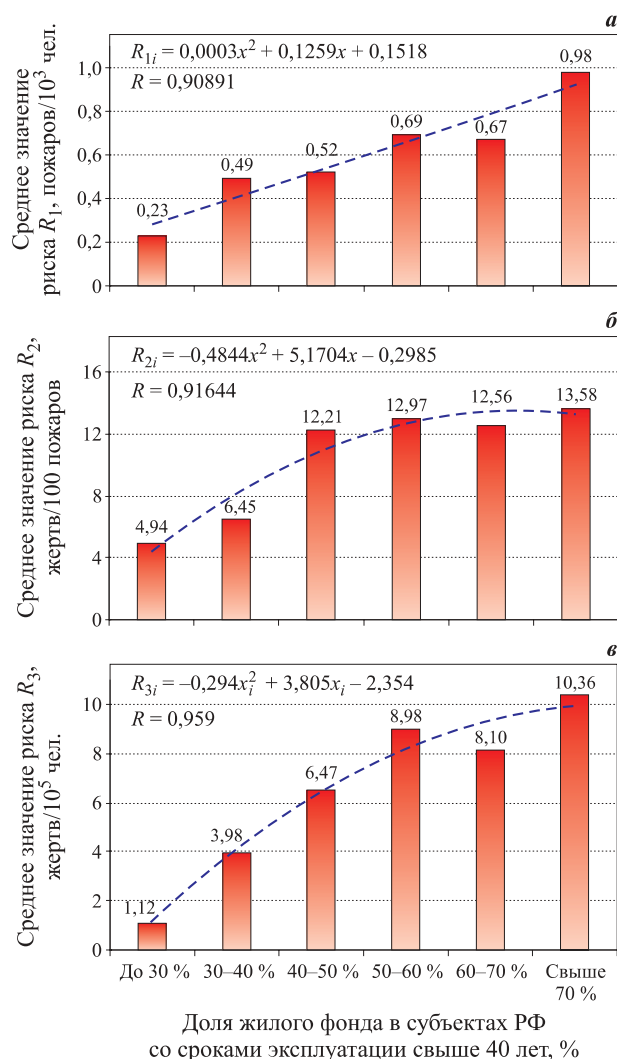


Рис. 4. Зависимость средних значений рисков R_1 (а), R_2 (б) и R_3 (в) от удельного веса городского жилищного фонда со сроками эксплуатации более 40 лет (среднее за 2007–2013 гг.): ■ — среднее значение; — — — — полиномиальное значение

риска R_2 : от минимального — 4,9 для многоквартирных жилых домов при удельном весе городского жилищного фонда со сроками эксплуатации более 40 лет до 30 % до максимального — 13,6 при удельном весе жилищного фонда со сроками эксплуатации свыше 40 лет более 75 %.

Аналогичная ситуация наблюдается и для риска R_3 (рис. 4, в), минимальное среднее значение которого составило 1,1 погибших на 100 тыс. городских жителей при удельном весе городского жилищного фонда со сроками эксплуатации более 40 лет до 30 %, а максимальное достигло 10,4 при удельном весе городского жилищного фонда со сроками эксплуатации более 40 лет свыше 75 %.

Таким образом, можно сделать следующий вывод: с увеличением сроков эксплуатации городского жилищного фонда возрастают и среднегодовые значения рисков для жителей таких домов столкнуться с пожаром или погибнуть при пожаре, что объясняется возрастающим во времени моральным и физическим износом жилых домов.

Исследование городского жилищного фонда РФ показало, что в связи с длительными сроками эксплуатации в отношении более 75 % (а в некоторых субъектах РФ более 90 %) многоквартирных жилых домов современное законодательство в области обеспечения минимально необходимых установленных условий безопасности, в том числе пожарной, неприменимо, вплоть до момента их реконструкции или капитального ремонта.

В результате проведенного анализа утвержденных и реализуемых в настоящее время региональных программ по капитальному ремонту многоквартирных жилых домов было установлено, что, наряду с восстановлением первоначальных эксплуата-

ционных характеристик ремонтируемых объектов, необходимо предусмотреть модернизацию или оснащение их недостающими видами инженерного оборудования, в том числе средствами ПА, обеспечив тем самым минимально необходимый уровень пожарной безопасности в городском жилищном фонде с длительными сроками эксплуатации.

На основе выявленных зависимостей и взаимосвязей были разработаны модели и алгоритмы прогнозирования динамики изменения величины пожарных рисков для жилых домов городских поселений в случае проведения капитальных ремонтов при одновременном оснащении их средствами ПА; определен подход к оценке ожидаемого социально-экономического эффекта при планировании мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, а также разработана модель управления рисками для городских жителей погибнуть при пожаре в жилом доме.

Используя информацию о состоянии городского жилищного фонда РФ, общую площадь многоквартирных жилых домов городских поселений, подлежащих поэтапному оборудованию средствами ПА, определим по формулам:

$$S_{ПАji} = S_j k_{ПАi}; \quad (1)$$

$$S_{ПА} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n S_{ПАji}, \quad (2)$$

где $S_{ПАji}$ — расчетная площадь многоквартирных жилых домов городских поселений j -го субъекта РФ на i -м этапе оснащения средствами ПА, m^2 ; S_j — фактическая городская площадь многоквартирных жилых домов j -го субъекта РФ, m^2 ; $k_{ПАi}$ — коэффициент, отражающий удельный вес многоквартирных жилых домов, подлежащих оснащению средствами ПА; $S_{ПА}$ — расчетная общая городская площадь многоквартирных жилых домов в субъектах РФ, подлежащих оборудованию средствами ПА, m^2 .

Используя сведения Всероссийской переписи населения 2010 г., численность городских жителей, проживающих в многоквартирных жилых домах в анализируемых регионах, подлежащих оснащению средствами ПА, для каждого i -го этапа определим по следующим формулам:

$$P_{ПАji} = S_{ПАji} / \langle \bar{S}_j \rangle; \quad (3)$$

$$P_{ПА} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n P_{ПАji}, \quad (4)$$

где $P_{ПАji}$ — расчетная численность городского населения, проживающего в жилых домах j -го субъекта РФ, на i -м этапе оснащения их средствами ПА, чел.; $\langle \bar{S}_j \rangle$ — среднее распределение жилой площади, приходящейся на одного городского жителя j -го субъекта РФ, $m^2/\text{чел.}$;

$P_{ПА}$ — расчетная общая численность городского населения, проживающего в многоквартирных жилых домах в субъектах РФ, оснащенных средствами ПА, чел.

Моделирование числа жертв пожаров осуществлялось путем применения фактических значений риска R_3 для соответствующего региона к фактической численности городского населения этого же региона, за исключением расчетной численности городского населения, проживающего в многоквартирных жилых домах, подлежащих оборудованию средствами ПА:

$$P_{гиб-ПАji} = (P_{фактj} - P_{ПАji}) R_{3j\text{ факт}}, \quad (5)$$

где $P_{гиб-ПАji}$ — математическое ожидание числа погибших при пожарах в жилых домах, не оборудованных средствами ПА, в j -м субъекте РФ на i -м этапе оснащения ПА, чел./год;

$P_{фактj}$ — фактическая численность городского населения j -го субъекта РФ, чел.;

$R_{3j\text{ факт}}$ — фактическое значение риска R_3 для жилых домов городского поселения в j -м субъекте РФ, жертв/(10^5 чел. · год).

Исходными данными для определения фактических значений риска R_3 для многоквартирного жилого дома в соответствующем регионе РФ являлись ежегодные статистические показатели, характеризующие состояние пожарной безопасности в РФ.

Выше было показано, что риск для жителей многоквартирных жилых домов, оборудованных средствами ПА, погибнуть в течение года при пожаре в среднем в 2,5 раза ниже, чем для жителей многоквартирных жилых домов, не оборудованных ПА. Таким образом, математическое ожидание числа жертв пожаров в многоквартирных жилых домах, оборудованных средствами ПА, будет определяться по формуле

$$P_{гиб+ПАji} = P_{ПАji} R_{3j\text{ факт}} \bar{k}_{\text{факт.ПА}}, \quad (6)$$

где $P_{гиб+ПАji}$ — математическое ожидание числа погибших при пожарах в жилых домах, оборудованных средствами ПА, в j -м субъекте РФ на i -м этапе оснащения их ПА, чел./год; $\bar{k}_{\text{факт.ПА}}$ — коэффициент фактической результативности применяемых средств ПА.

Математическое ожидание числа погибших при пожарах в многоквартирных жилых домах городских поселений в субъектах РФ при реализации i -го этапа оснащения их средствами ПА можно будет определить по следующей формуле:

$$P_{гибji} = P_{гиб-ПАji} + P_{гиб+ПАji}, \quad (7)$$

где $P_{гибji}$ — математическое ожидание числа погибших при пожарах в многоквартирных жилых домах городских поселений в субъектах РФ на i -м этапе оснащения их средствами ПА, чел./год.

Используя статистические данные по жертвам пожаров, происшедших в многоквартирных жилых домах в анализируемых регионах, и математические ожидания аналогичного показателя в случае поэтапного оснащения жилых домов средствами ПА, определим ожидаемое число предотвращаемых жертв пожаров:

$$P_{\text{гиб.прог } ji} = P_{\text{гиб.факт } j} - P_{\text{гиб } ji}, \quad (8)$$

где $P_{\text{гиб.прог } ji}$ — математическое ожидание числа предотвращаемых в течение года жертв пожаров в многоквартирных жилых домах городских поселений в субъектах РФ при реализации i -го этапа, чел./год;

$P_{\text{гиб.факт } j}$ — фактическое число погибших при пожарах в многоквартирных жилых домах городских поселений в j -м субъекте РФ (среднее за 2007–2013 гг.), чел./год.

Полученная информация позволяет определить ожидаемые значения риска R_3 в зависимости от степени реализации предлагаемых мероприятий (рис. 5).

Аналогичная ситуация в настоящее время наблюдается в жилом секторе США [5, 6]. На рис. 6 представлены итоги исследования динамики риска

R_3 в зависимости от увеличения удельного веса жилых домов, оборудованных автономными дымовыми пожарными извещателями.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в отношении среднегодовых значений риска R_3 в жилых домах следует ожидать значительного снижения их при соответствующих темпах увеличения удельного веса жилых домов, оборудованных средствами ПА, с текущего среднего значения 8,1 чел. до ожидаемого минимального расчетного значения — 3,3 погибших при пожаре на 100 тыс. чел. в случае 100 %-ного оснащения жилых домов средствами ПА.

Динамика изменения фактических значений R_3 наглядно показывает, что в США при увеличении удельного веса жилых домов, оборудованных средствами ПА, наблюдается устойчивое снижение риска R_3 с максимального среднегодового значения 4,1 погибших на 100 тыс. чел. при 10 %-ном оснащении жилых домов средствами ПА до минимального — 1,0 чел. на 100 тыс. чел. при 96 %-ном оснащении.

Сравнительный анализ сведений о степени фактической работоспособности средств ПА при пожарах в жилых домах в РФ и США показал, что она практически идентична (рис. 7).

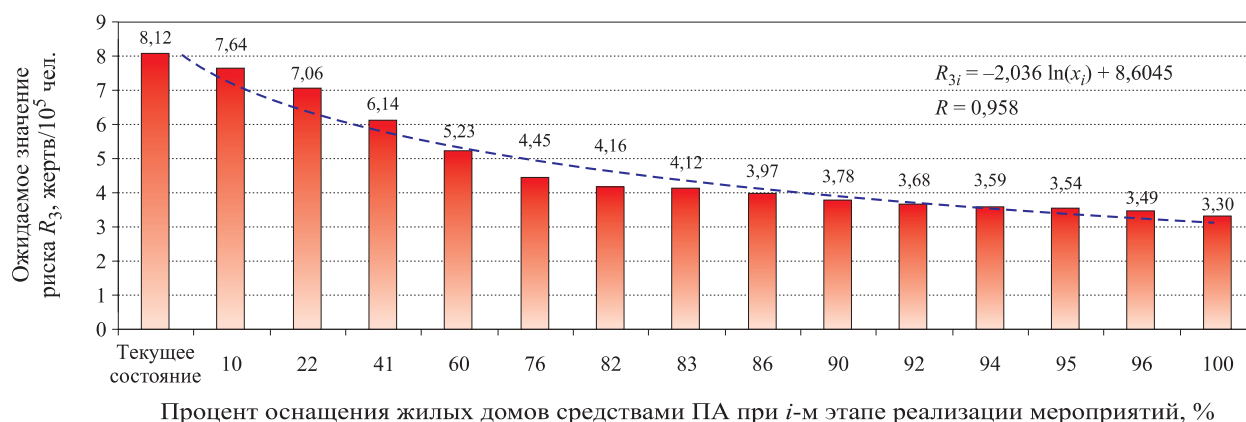


Рис. 5. Моделирование значений риска R_3 в зависимости от изменения удельного веса жилых домов, оборудованных средствами ПА на i -м этапе оснащения

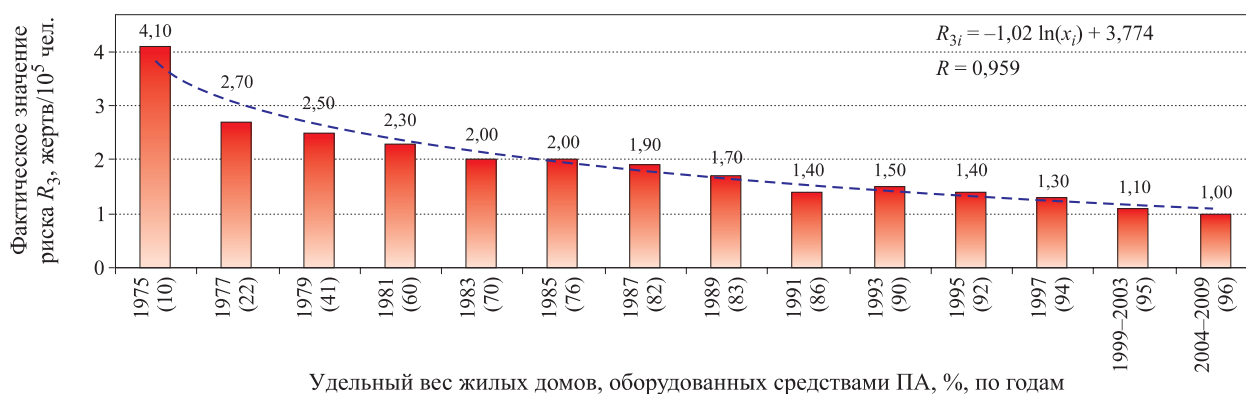


Рис. 6. Фактические значения риска R_3 при пожарах в жилых домах в США в зависимости от изменения удельного веса жилых домов, оборудованных ПА (средние за 1975–2009 гг.)

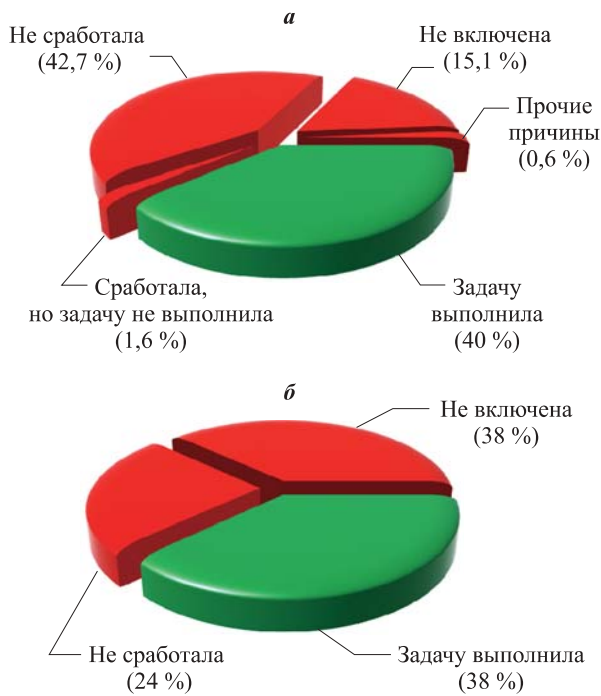


Рис. 7. Результаты сравнительного анализа степени работоспособности средств ПА при пожарах в жилых домах в России (а) и США (б)

Приведенные факты свидетельствуют о том, что анализируемыми факторами, влияющими на гибель людей при пожарах в жилых домах, необходимо и можно управлять, а полученные математические ожидания значений рисков R_3 для жилых домов в зависимости от реализации предлагаемых мероприятий можно считать обоснованными.

На следующем этапе стоял вопрос об определении социально-экономической целесообразности реализации предлагаемых мероприятий.

С этой целью разработан подход к определению ожидаемого социально-экономического эффекта, который основан на сопоставлении ожидаемых последствий пожаров и соответствующих сумм рас-

ходов, необходимых для реализации предлагаемых мероприятий, приведенных к одной ожидаемой предотвращенной жертве пожара. При этом применялся подход отечественных исследователей к экономической оценке жизни среднестатистического человека, в результате чего был установлен экономический эквивалент жизни одного человека, который в свою очередь позволил определить сумму социально-экономического ущерба (далее — СЭУ), наносимого экономике страны в случае гибели при пожаре одного среднестатистического человека [11–13].

На рис. 8 представлены результаты моделирования ожидаемых сумм ежегодных расходов для соответствующих этапов по дооборудованию жилых домов средствами ПА, приведенных к одной предотвращенной жертве пожара.

Закономерно, что пожары в жилых домах, в результате которых погибают люди, происходят внезапно и не в каждом доме. Соответственно, в связи с незначительным освоением площади жилищного фонда на начальном этапе реализации предлагаемых мероприятий потребуются существенные расходы при относительно небольшом числе предотвращенных жертв пожаров.

Так, на первом году реализации предлагаемых мероприятий для недопущения одной жертвы пожара потребуется более 55 млн. руб., а в дальнейшем, при поэтапном плановом увеличении удельного веса площади городского жилищного фонда, оборудованного средствами ПА, ожидается значительное увеличение ежегодного числа предотвращенных жертв пожаров, что в свою очередь снизит расходы, приведенные к одной недопущенной жертве пожара.

В соответствии с результатами проведенного моделирования по истечении 4-го года реализации предлагаемых мероприятий и достижения планового 13 %-ного оснащения жилых домов средствами ПА ожидаемые расходы по предотвращению

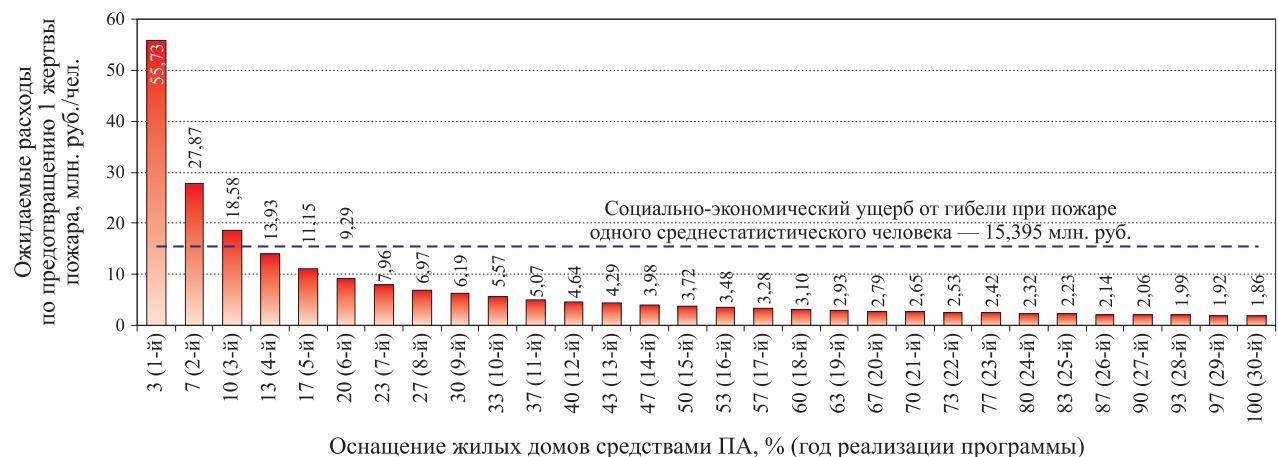


Рис. 8. Результаты моделирования ожидаемых сумм ежегодных расходов по предотвращению одной жертвы пожара с начала реализации региональной программы по капитальному ремонту многоквартирных жилых домов

Таблица 3. Результаты моделирования сумм социально-экономического эффекта $\Sigma \mathcal{E}_i$ при планировании мероприятий по оборудованию многоквартирных жилых домов средствами ПА при реализации региональной Программы по капитальному ремонту жилых домов

Регион	1-й год (3 %)	2-й год (7 %)	3-й год (10 %)	4-й год (13 %)	5-й год (17 %)	6-й год (20 %)	7-й год (23 %)	8-й год (27 %)	9-й год (30 %)	10-й год (33 %)	11-й год (37 %)	12-й год (40 %)	13-й год (43 %)	14-й год (47 %)	15-й год (50 %)	16-й год (53 %)	17-й год (57 %)	18-й год (60 %)	19-й год (63 %)	20-й год (67 %)	21-й год (70 %)	22-й год (73 %)	23-й год (77 %)	24-й год (80 %)	25-й год (83 %)	26-й год (87 %)	27-й год (90 %)	28-й год (93 %)	29-й год (97 %)	30-й год (100 %)
Белгородская область	-88,2	-36,4	-19,1	-10,5	-5,3	-1,9	0,6	2,4	3,9	5,0	6,0	6,8	7,4	8,0	8,5	8,9	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5	10,7	10,9	11,1	11,3	11,4	11,6	11,7	11,8	11,9
Владимирская область	-13,6	0,9	5,7	8,1	9,6	10,6	11,3	11,8	12,2	12,5	12,8	13,0	13,2	13,3	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,4	14,4	14,4
Воронежская область	-41,4	-13,0	-3,5	1,2	4,0	5,9	7,3	8,3	9,1	9,7	10,2	10,7	11,0	11,3	11,6	11,9	12,1	12,2	12,4	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,4	13,5
Ивановская область	-9,7	2,8	7,0	9,1	10,4	11,2	11,8	12,3	12,6	12,9	13,1	13,3	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,1	14,2	14,3	14,3	14,4	14,4	14,5	14,5	14,6	14,6
Калужская область	-26,9	-5,8	1,3	4,8	6,9	8,3	9,4	10,1	10,7	11,2	11,6	11,9	12,1	12,4	12,6	12,8	12,9	13,0	13,2	13,3	13,3	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	13,9	14,0	14,0	14,0
Костромская область	-14,3	0,5	5,5	8,0	9,5	10,4	11,2	11,7	12,1	12,4	12,7	12,9	13,1	13,3	13,4	13,5	13,7	13,7	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,4	14,4	14,4
Липецкая область	-47,0	-15,8	-5,4	-0,2	2,9	5,0	6,5	7,6	8,5	9,2	9,7	10,2	10,6	10,9	11,2	11,5	11,7	11,9	12,1	12,3	12,4	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,2	13,3
Московская область	-49,6	-17,1	-6,3	-0,9	2,4	4,6	6,1	7,3	8,2	8,9	9,5	10,0	10,4	10,8	11,1	11,3	11,6	11,8	12,0	12,1	12,3	12,4	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,2
Орловская область	-44,0	-14,3	-4,4	0,5	3,5	5,5	6,9	8,0	8,8	9,5	10,0	10,4	10,8	11,2	11,4	11,7	11,9	12,1	12,3	12,4	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,4
Рязанская область	-17,3	-0,9	4,5	7,2	8,9	10,0	10,7	11,3	11,8	12,1	12,4	12,7	12,9	13,1	13,2	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,3
Смоленская область	-18,8	-1,7	4,0	6,9	8,6	9,7	10,5	11,1	11,6	12,0	12,3	12,6	12,8	13,0	13,1	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3
Тверская область	-19,4	-2,0	3,8	6,7	8,4	9,6	10,4	11,1	11,5	11,9	12,2	12,5	12,7	12,9	13,1	13,2	13,4	13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,2	14,2
Тульская область	-27,0	-5,8	1,3	4,8	6,9	8,3	9,3	10,1	10,7	11,2	11,5	11,9	12,1	12,4	12,6	12,7	12,9	13,0	13,2	13,3	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,0
Ярославская область	-15,2	0,1	5,2	7,7	9,3	10,3	11,0	11,6	12,0	12,3	12,6	12,8	13,0	13,2	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,3	14,4	14,4
г. Москва	-67,4	-26,0	-12,2	-5,3	-1,2	1,6	3,6	5,0	6,2	7,1	7,9	8,5	9,0	9,5	9,9	10,2	10,5	10,8	11,0	11,3	11,5	11,6	11,8	11,9	12,1	12,2	12,3	12,4	12,5	12,6
Республика Коми	-20,9	-2,7	3,3	6,3	8,1	9,4	10,2	10,9	11,4	11,8	12,1	12,4	12,6	12,8	13,0	13,1	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,1	14,2	14,2	14,2
Архангельская область	-22,6	-3,6	2,7	5,9	7,8	9,1	10,0	10,7	11,2	11,6	11,9	12,2	12,5	12,7	12,9	13,0	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
Калининградская область	-28,2	-6,4	0,9	4,5	6,7	8,1	9,2	9,9	10,6	11,0	11,4	11,8	12,0	12,3	12,5	12,7	12,8	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1
Ленинградская область	-18,8	-1,7	4,0	6,8	8,6	9,7	10,5	11,1	11,6	12,0	12,3	12,5	12,8	13,0	13,1	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3
Мурманская область	-24,6	-4,6	2,1	5,4	7,4	8,7	9,7	10,4	11,0	11,4	11,8	12,1	12,3	12,5	12,7	12,9	13,0	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,1	14,1
Новгородская область	-9,1	3,1	7,2	9,3	10,5	11,3	11,9	12,3	12,7	12,9	13,2	13,4	13,5	13,6	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,4	14,4	14,5	14,5	14,6	14,6	14,6
Псковская область	-8,8	3,3	7,3	9,3	10,6	11,4	11,9	12,4	12,7	13,0	13,2	13,4	13,5	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,4	14,4	14,5	14,5	14,6	14,6	14,6

г. Санкт-Петербург	-40,8	-12,7	-3,3	1,3	4,2	6,0	7,4	8,4	9,2	9,8	10,3	10,7	11,1	11,4	11,7	11,9	12,1	12,3	12,4	12,6	12,7	12,8	13,0	13,1	13,2	13,2	13,3	13,4	13,5	13,5
Республика Адыгея	-136	-60,1	-34,9	-22,4	-14,8	-9,8	-6,2	-3,5	-1,4	0,3	1,7	2,8	3,8	4,6	5,3	6,0	6,5	7,0	7,5	7,8	8,2	8,5	8,8	9,1	9,4	9,6	9,8	10,0	10,2	10,4
Республика Калмыкия	-121	-52,9	-30,1	-18,7	-11,9	-7,4	-4,1	-1,7	0,2	1,7	3,0	4,0	4,9	5,6	6,3	6,9	7,4	7,8	8,2	8,6	8,9	9,2	9,5	9,7	9,9	10,1	10,3	10,5	10,7	10,8
Астраханская область	-23,6	-4,1	2,4	5,6	7,6	8,9	9,8	10,5	11,1	11,5	11,9	12,1	12,4	12,6	12,8	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1
Волгоградская область	-20,4	-2,5	3,5	6,5	8,2	9,4	10,3	10,9	11,4	11,8	12,1	12,4	12,6	12,8	13,0	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2
Ростовская область	-42,4	-13,5	-3,9	0,9	3,8	5,8	7,1	8,2	9,0	9,6	10,1	10,6	11,0	11,3	11,5	11,8	12,0	12,2	12,4	12,5	12,6	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,3	13,4	13,5
Республика Дагестан	-404	-194	-124,3	-89,4	-68,4	-54,5	-44,5	-37,0	-31,2	-26,5	-22,7	-19,5	-16,8	-14,5	-12,5	-10,8	-9,3	-7,9	-6,7	-5,6	-4,6	-3,7	-2,8	-2,1	-1,4	-0,7	-0,1	0,4	0,9	1,4
Кабардино-Балкарская республика	-157	-70,7	-42,0	-27,7	-19,0	-13,3	-9,2	-6,1	-3,7	-1,8	-0,3	1,0	2,2	3,1	3,9	4,6	5,3	5,8	6,3	6,8	7,2	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8	9,0	9,2	9,5	9,7
Чеченская республика	-250	-117	-73,0	-50,9	-37,6	-28,8	-22,5	-17,7	-14,1	-11,1	-8,7	-6,7	-5,0	-3,5	-2,3	-1,2	-0,2	0,7	1,4	2,1	2,8	3,4	3,9	4,4	4,8	5,2	5,6	5,9	6,3	6,6
Республика Башкортостан	-58,5	-21,6	-9,2	-3,1	0,6	3,1	4,8	6,2	7,2	8,0	8,7	9,2	9,7	10,1	10,5	10,8	11,1	11,3	11,5	11,7	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4	12,6	12,7	12,8	12,9	12,9
Республика Марий Эл	-25,0	-4,8	1,9	5,3	7,3	8,7	9,6	10,4	10,9	11,4	11,7	12,0	12,3	12,5	12,7	12,9	13,0	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1
Республика Мордовия	-33,1	-8,9	-0,8	3,3	5,7	7,3	8,5	9,3	10,0	10,5	11,0	11,4	11,7	11,9	12,2	12,4	12,5	12,7	12,8	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	13,7	13,8
Республика Татарстан	-43,5	-14,0	-4,2	0,7	3,6	5,6	7,0	8,0	8,9	9,5	10,0	10,5	10,9	11,2	11,5	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,4
Удмуртская республика	-28,3	-6,5	0,8	4,5	6,7	8,1	9,2	9,9	10,5	11,0	11,4	11,8	12,0	12,3	12,5	12,7	12,8	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,8	13,9	13,9
Чувашская республика	-42,7	-13,6	-4,0	0,9	3,8	5,7	7,1	8,1	8,9	9,6	10,1	10,6	10,9	11,3	11,5	11,8	12,0	12,2	12,3	12,5	12,6	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,2	13,3	13,4	13,5
Пермский край	-18,9	-1,8	4,0	6,8	8,5	9,7	10,5	11,1	11,6	12,0	12,3	12,5	12,8	12,9	13,1	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3
Кировская область	1,4	8,4	10,7	11,9	12,6	13,1	13,4	13,7	13,8	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,5	14,6	14,6	14,7	14,7	14,7	14,8	14,8	14,8	14,8	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9
Нижегородская область	-16,1	-0,4	4,9	7,5	9,1	10,1	10,9	11,5	11,9	12,2	12,5	12,8	13,0	13,1	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,3
Оренбургская область	-36,8	-10,7	-2,0	2,3	5,0	6,7	7,9	8,9	9,6	10,2	10,7	11,0	11,4	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,7	12,8	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7
Пензенская область	-35,6	-10,1	-1,6	2,7	5,2	6,9	8,1	9,0	9,7	10,3	10,8	11,2	11,5	11,8	12,0	12,2	12,4	12,6	12,7	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,4	13,5	13,6	13,6	13,7
Самарская область	-38,4	-11,5	-2,5	2,0	4,6	6,4	7,7	8,7	9,4	10,0	10,5	10,9	11,3	11,6	11,8	12,0	12,2	12,4	12,6	12,7	12,8	13,0	13,1	13,2	13,2	13,3	13,4	13,5	13,5	13,6
Саратовская область	-21,5	-3,1	3,1	6,2	8,0	9,2	10,1	10,8	11,3	11,7	12,0	12,3	12,6	12,8	12,9	13,1	13,2	13,3	13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,2
Ульяновская область	-40,6	-12,6	-3,3	1,4	4,2	6,1	7,4	8,4	9,2	9,8	10,3	10,7	11,1	11,4	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6	12,7	12,9	13,0	13,1	13,2	13,2	13,3	13,4	13,5	13,5
Курганская область	-16,9	-0,7	4,6	7,3	8,9	10,0	10,8	11,4	11,8	12,2	12,5	12,7	12,9	13,1	13,2	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,3
Свердловская область	-16,4	-0,5	4,8	7,5	9,0	10,1	10,9	11,4	11,9	12,2	12,5	12,8	13,0	13,1	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,3

Окончание табл. 3

Регион	1-й год (3 %)	2-й год (7 %)	3-й год (10 %)	4-й год (13 %)	5-й год (17 %)	6-й год (20 %)	7-й год (23 %)	8-й год (27 %)	9-й год (30 %)	10-й год (33 %)	11-й год (37 %)	12-й год (40 %)	13-й год (43 %)	14-й год (47 %)	15-й год (50 %)	16-й год (53 %)	17-й год (57 %)	18-й год (60 %)	19-й год (63 %)	20-й год (67 %)	21-й год (70 %)	22-й год (73 %)	23-й год (77 %)	24-й год (80 %)	25-й год (83 %)	26-й год (87 %)	27-й год (90 %)	28-й год (93 %)	29-й год (97 %)	30-й год (100 %)	
Ханты-Ман- сийский АО	-52,3	-18,4	-7,2	-1,5	1,9	4,1	5,7	6,9	7,9	8,6	9,2	9,8	10,2	10,6	10,9	11,2	11,4	11,6	11,8	12,0	12,2	12,3	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,1	13,1	13,1
Ямало- Неицкий АО	-35,9	-10,2	-1,7	2,6	5,1	6,9	8,1	9,0	9,7	10,3	10,7	11,1	11,5	11,7	12,0	12,2	12,4	12,6	12,7	12,8	13,0	13,1	13,2	13,3	13,3	13,4	13,5	13,6	13,6	13,6	13,7
Республика Алтай	-39,0	-11,8	-2,7	1,8	4,5	6,3	7,6	8,6	9,4	10,0	10,5	10,9	11,2	11,5	11,8	12,0	12,2	12,4	12,4	12,5	12,7	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,5	13,5	13,6
Республика Бурятия	-20,1	-2,4	3,6	6,5	8,3	9,5	10,3	11,0	11,5	11,8	12,2	12,4	12,7	12,9	13,0	13,2	13,3	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,2
Республика Тыва	-35,2	-9,9	-1,5	2,8	5,3	7,0	8,2	9,1	9,8	10,3	10,8	11,2	11,5	11,8	12,0	12,2	12,4	12,6	12,7	12,9	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	13,7
Республика Хакасия	-33,0	-8,8	-0,7	3,3	5,7	7,3	8,5	9,4	10,0	10,6	11,0	11,4	11,7	11,9	12,2	12,4	12,6	12,7	12,9	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	13,7	13,8
Алтайский край	-14,9	0,2	5,3	7,8	9,3	10,3	11,1	11,6	12,0	12,4	12,6	12,9	13,1	13,2	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,2	14,3	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
Забайкальский край	-12,9	1,3	6,0	8,3	9,7	10,7	11,4	11,9	12,3	12,6	12,8	13,0	13,2	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,4	14,4	14,4	14,4	14,5	14,5
Красноярский край	-19,9	-2,3	3,6	6,6	8,3	9,5	10,4	11,0	11,5	11,9	12,2	12,5	12,7	12,9	13,0	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,2
Иркутская область	-15,2	0,1	5,2	7,7	9,3	10,3	11,0	11,6	12,0	12,3	12,6	12,8	13,0	13,2	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,3	14,3	14,3	14,3	14,4	14,4
Кемеровская область	-8,3	3,6	7,5	9,5	10,7	11,5	12,0	12,4	12,8	13,0	13,2	13,4	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,4	14,4	14,4	14,5	14,5	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
Новосибир- ская область	-22,2	-3,4	2,9	6,0	7,9	9,1	10,0	10,7	11,2	11,6	12,0	12,3	12,5	12,7	12,9	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,1	14,1
Омская область	-19,0	-1,8	3,9	6,8	8,5	9,7	10,5	11,1	11,6	12,0	12,3	12,5	12,8	12,9	13,1	13,2	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,2	14,3
Томская область	-35,6	-10,1	-1,6	2,7	5,2	6,9	8,1	9,0	9,7	10,3	10,8	11,2	11,5	11,8	12,0	12,2	12,4	12,6	12,7	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,6	13,7	13,7	13,7
Республика Саха	-17,2	-0,9	4,5	7,2	8,9	10,0	10,7	11,3	11,8	12,1	12,4	12,7	12,9	13,1	13,2	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,3
Камчатский край	-23,6	-4,1	2,4	5,6	7,6	8,9	9,8	10,5	11,1	11,5	11,9	12,1	12,4	12,6	12,8	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,1	14,1
Приморский край	-14,0	0,7	5,6	8,1	9,5	10,5	11,2	11,7	12,1	12,5	12,7	13,0	13,1	13,3	13,4	13,6	13,7	13,8	13,9	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,4	14,4	14,4	14,4
Хабаровский край	-13,3	1,0	5,8	8,2	9,7	10,6	11,3	11,8	12,2	12,5	12,8	13,0	13,2	13,3	13,5	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,2	14,2	14,3	14,3	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
Амурская область	-7,5	3,9	7,8	9,7	10,8	11,6	12,1	12,5	12,9	13,1	13,3	13,5	13,6	13,8	13,9	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,5	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
Сахалинская область	-5,8	4,8	8,3	10,1	11,2	11,9	12,4	12,7	13,0	13,3	13,5	13,6	13,8	13,9	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,5	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,7	14,7	14,7
Еврейская АО	-6,6	4,4	8,1	9,9	11,0	11,7	12,3	12,7	13,0	13,2	13,4	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,5	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,7	14,7
Чукотский АО	-33,0	-8,8	-0,7	3,3	5,7	7,3	8,5	9,3	10,0	10,6	11,0	11,4	11,7	11,9	12,2	12,4	12,6	12,7	12,9	13,0	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,5	13,6	13,7	13,7	13,7	13,8

гибели при пожаре 1 чел. уже не превышают сумму СЭУ, наносимого экономике региона, от гибели при пожаре одного среднестатистического человека (15,395 млн. руб. (см. рис. 8)).

В табл. 3 представлены результаты моделирования сумм социально-экономического эффекта $\Sigma \mathcal{E}_{ji}$ для городских поселений j -х субъектов РФ при реализации i -х этапов по оборудованию жилых домов средствами ПА.

Планируемый социально-экономический эффект $\Sigma \mathcal{E}_{ji}$ определялся как разность между математическими ожиданиями сумм ежегодно предотвращаемого СЭУ, достигаемого за счет планируемого сокращения числа погибших при пожарах в многоквартирных жилых домах в субъектах РФ при поэтапном оборудовании их средствами ПА, и соответствующих им ожидаемых сумм расходов, приведенных к одной предотвращенной жертве пожара.

Красным цветом в табл. 3 выделен достигаемый отрицательный социально-экономический эффект $\Sigma \mathcal{E}_{ji}$, т. е. когда планируемые расходы, необходимые для соответствующего этапа и года реализации мероприятий по дооборудованию многоквартирных жилых домов средствами ПА (приведенные к одной предотвращенной жертве пожара), превышают предотвращаемый социально-экономический ущерб от гибели при пожаре 1 чел. В остальных ячейках даны планируемые расходы по дооборудованию средствами ПА (приведенные к одной предотвращенной жертве пожара), не превышающие предотвращаемый СЭУ для экономики региона от гибели при пожаре одного среднестатистического человека, т. е. достигается положительный социально-экономический эффект $\Sigma \mathcal{E}_{ji}$.

В соответствии с результатами моделирования социально-экономического эффекта в ряде регионов РФ положительное значение в основном должно быть достигнуто на 2–3-м году реализации предлагаемых мероприятий, но одновременно выявлен и ряд регионов, где предлагаемые мероприятия, направленные на снижение пожарных рисков в жилых домах посредством оснащения средствами ПА, нецелесообразны.

По результатам проведенных исследований была предложена схема модели управления риском R_3 для жителей жилых домов погибнуть при пожаре.

Предложенная схема предусматривает взаимодействие федеральных органов исполнительной власти, в данном случае территориальных подразделений МЧС России и органов исполнительной власти субъектов РФ, в пределах их компетенций в части обеспечения минимально необходимого уровня пожарной безопасности в городском жилищном фонде с длительными сроками эксплуатации при проведении капитальных ремонтов.

С учетом того что в соответствии с действующим федеральным законодательством субъекты РФ при наличии средств и экономии наделены полномочиями определять и утверждать дополнительный перечень услуг и работ по капитальному ремонту в жилых домах, а согласно полученным результатам моделирования на реализацию предлагаемых мероприятий потребуется около 1 % экономии, которая может быть достигнута в результате применения федерального законодательства по контрактной системе, существует реальная возможность решить проблему высоких значений рисков гибели людей при пожарах без использования дополнительных ресурсов собственников жилых помещений или бюджетов различных уровней.

Таким образом, в случае применения разработанной модели управления рисками одновременно с достижением значительного снижения рисков гибели при пожарах существенным фактором для реализации мероприятий является и предотвращаемый СЭУ, достигаемый за счет недопущения жертв пожаров и сокращения дополнительных расходов ограниченных ресурсов, отвлекаемых на компенсацию последствий пожаров.

Выводы

Более чем в 90 % случаев гибель людей при пожарах в жилых домах происходит непосредственно в первые минуты развития пожара, до прибытия пожарных подразделений.

При существующих условиях время прибытия пожарных подразделений к месту пожара не оказывает значительного влияния на величину риска для человека погибнуть при пожаре в жилом доме. Это связано с тем, что опасные факторы пожара начинают действовать на людей, находящихся в помещении, уже в самом начале развития пожара — на 3–4-й минуте, а время с момента возникновения пожара до прибытия первых пожарных подразделений к месту вызова в 80 % случаев составляет более 12 мин (экспертная оценка).

Следовательно, для снижения человеческих потерь от пожаров необходимо обеспечить сокращение промежутка времени от возникновения до обнаружения пожара, на которое и приходится подавляющее число жертв пожаров, а это возможно только при массовом оснащении жилых домов средствами ПА.

Исследование официальной статистической информации о фактических результатах работы средств ПА в жилых домах показало, что в 60 % случаев средства ПА находились в неисправном или неработоспособном состоянии. Несмотря на это средняя величина риска для человека погибнуть при пожаре в жилом доме, оборудованном средствами ПА,

в 2,5 раза ниже, чем при пожарах в жилых домах, не оборудованных ими.

Установлено, что с увеличением удельного веса городского жилищного фонда с длительными сроками эксплуатации возрастают и средние значения основных пожарных рисков для жителей таких домов столкнуться с пожаром и погибнуть при пожаре в течение года. При сравнении регионов РФ, в которых городской жилищный фонд со сроками эксплуатации свыше 40 лет составил менее 30 и более 70 %, значения основных пожарных рисков были превышены в 5 раз для R_1 , в 2,7 раза — для R_2 и в 9,5 раз — для R_3 .

Результаты моделирования на примере городских поселений в 69 субъектах РФ показали, что при планируемом 10 %-ном оснащении жилых домов городских поселений в анализируемых регионах средствами ПА ежегодное число предотвращаемых жертв пожаров может составить 5–6 % от общего фактического числа рассматриваемой категории погибших. В случае максимально возможного 100 %-ного оснащения жилых домов средствами ПА среднегодовое число предотвращаемых жертв пожаров может достигнуть 52–53 % от общего числа, исходя из фактической степени работоспособности средств ПА в жилых домах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brushlinsky N. N., Hall J., Sokolov S. V., Wagner P. World Fire Statistics / Center of Fire Statistics of CTIF. — 2010–2016. — Reports No. 15–21. URL: <http://ctif.org/ctif/world-fire-statistics> (дата обращения: 05.10.2016).
2. Пожары и пожарная безопасность в 2013 г. : статистический сборник. — М. : ВНИИПО, 2014.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2014 г. : статистический сборник. — М. : ВНИИПО, 2015.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2015 г. : статистический сборник. — М. : ВНИИПО, 2016.
5. Ahrens M. Smoke alarms in U. S. home fires. — Quincy, MA : NFPA, 2011. — 81 p.
6. Ahrens M. Smoke alarms in U. S. home fires. — Quincy, MA : NFPA, 2015. — 74 p.
7. Программа повышения энергоэффективности городского жилищного сектора в Российской Федерации — разработка модели и нормативно-правовой базы. — М. : Институт экономики города, 2013. URL: <http://www.urbanecomonomics.ru/node/4375> (дата обращения: 05.10.2016).
8. Соколов С. В., Костюченко Д. В. Эффективность средств пожарной автоматики на пожарах в жилых домах // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 70–75.
9. Соколов С. В., Федоров А. В., Костюченко Д. В. Обеспечение пожарной безопасности с помощью средств пожарной автоматики в многоквартирных жилых домах при реализации региональных программ по их капитальному ремонту // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2015. — № 1. — С. 41–47.
10. Соколов С. В., Костюченко Д. В. Оценка влияния сроков эксплуатации зданий жилого назначения на последствия от пожара // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 1. — С. 64–69.
11. Харисов Г. Х. Экономический эквивалент человеческой жизни : монография. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2008. — 57 с.
12. Харисов Г. Х., Айвар Л. К., Трунов И. Л. Эквивалент стоимости человеческой жизни // Право и политика. — 2006. — № 10. — С. 121–129.
13. Быков А. А. О методологии экономической оценки жизни среднестатистического человека (пояснительная записка) // Проблемы анализа риска. — 2007. — Т. 4, № 2. — С. 178–191. URL: http://www.dex.ru/riskjournal/2007/2007_4_2/178-191.pdf (дата обращения: 05.10.2016).

Материал поступил в редакцию 12 октября 2016 г.

Для цитирования: Соколов С. В., Костюченко Д. В. Управление рисками гибели людей при пожарах в жилых домах городских поселений // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 61–74. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.61-74.

English

RISK MANAGEMENT OF FIRE DEATHS IN HOMES OF URBAN SETTLEMENTS

SOKOLOV S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor of Management and Economic Department of State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, 129366, Moscow, Russian Federation; e-mail: albrus-ssv1@yandex.ru)

KOSTYUCHENKO D. V., Candidate of Technical Sciences, Senior Teacher-Methodist of Faculty of Research Pedagogical-Staff, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, 129366, Moscow, Russian Federation; e-mail: d.v.kost@mail.ru)

ABSTRACT

The article presents results of studies on the reduction of risk of fire deaths in the homes fires of urban settlements.

Each year, the largest number of fires in the Russian Federation is registered in the residential houses, their share of the total number of fires is an average of 70 %. These fires kill more than 92 % of all fatalities. Around 15 % of cases of fires reported in the living rooms of residential houses which kill nearly 70 % of all victims in all fires.

The authors conducted a series of studies to identify factors, which affecting to the values of fire deaths risk from fires in homes of urban settlements. As these factors were considered: the response time of fire units; availability of fire detectors in residential buildings; the lifetime of residential buildings. It was found that under the existing conditions, the response time of fire units does not affect the reduction in the fire death risk in homes.

As a result of statistical research, which characterizes the effectiveness of fire detectors in residential buildings, it was established that the average fire death risk in such buildings less than 2.5 times than in the other, this fact also confirmed by international experience.

In the study of the national urban housing structures it was found that with an increase in the part of houses with long lifetime use (over 40 years), increasing the average risk of fires in these homes and fire death risk.

Based on the study of factors affecting to the value of the fire death risk, there were developed models and algorithms to not only reduce the impact of these factors, but also to determine the annual number of prevention of fire deaths. In particular, an algorithm for implementation of reduction (at least 2.5 times) regional fire death risks in homes. Method for socio-economic justification of fire safety measures has been offered. This method based on the evaluation and comparison of the amounts of preventable socio-economic damage to the region's economy, with corresponding expected costs, relatively to a one preventable fire death. Also, approaches in the field of fire safety, do not involve additional costs both for the owners of residential and budgets of different levels were determined. At the same time, prevent social and economic damage, achieved as a result of the pre-proposed activities greatly exceed the necessary costs after the first 3 years.

Keywords: fire statistics; fire risk; response time; fire detector; risk management.

REFERENCES

1. Brushlinsky N. N., Hall J., Sokolov S. V., Wagner P. *World Fire Statistics. Center of Fire Statistics of CTIF*, 2010–2016, Reports No. 15–21. Available at: <http://ctif.org/ctif/world-fire-statistics> (Accessed 5 October 2016).
2. *Fires and fire safety in 2013. Statistical yearbook*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2014 (in Russian).
3. *Fires and fire safety in 2014. Statistical yearbook*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2015 (in Russian).
4. *Fires and fire safety in 2015. Statistical yearbook*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2016 (in Russian).
5. Ahrens M. *Smoke alarms in U.S. home fires*. Quincy, MA, NFPA, 2011. 81 p.
6. Ahrens M. *Smoke alarms in U.S. home fires*. Quincy, MA, NFPA, 2015. 74 p.
7. *Urban housing energy efficiency program in the Russian Federation — the development of the model and the legal and regulatory framework*. Moscow, The Institute for Urban Economics Publ., 2013 (in Russian). Available at: <http://www.urbaneconomics.ru/node/4375> (Accessed 5 October 2016).
8. Sokolov S. V., Kostyuchenko D. V. Effectiveness of fire automatics on fires in homes. *Pozharovzryvo-bezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 70–75 (in Russian).
9. Sokolov S. V., Fedorov A. V., Kostyuchenko D. V. Fire safety provision by means of fire automation facilities in blocks of flats for regional programs implementation on capital repair. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya (Fire and Emergencies: Prevention, Elimination)*, 2015, no. 1, pp. 41–47 (in Russian).

10. Sokolov S. V., Kostyuchenko D. V. Assessing the impact of residential buildings service life on the effects of fire. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya (Fire and Emergencies: Prevention, Elimination)*, 2014, no. 1, pp. 64–69 (in Russian).
11. Kharisov G. Kh. *The economic equivalent of human life*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2008. 57 p. (in Russian).
12. Kharisov G. Kh., Aivar L. K., Trunov I. L. Equivalent of human life. *Pravo i politika (Law and Politics)*, 2006, no. 10, pp. 121–129 (in Russian).
13. Bykov A. A. On methodology for economic assessment of the value of statistical life (explanatory note). *Problemy analiza riska (Issues of Risk Analysis)*, 2007, vol. 4, no. 2, pp. 178–191 (in Russian). Available at: http://www.dex.ru/riskjournal/2007/2007_4_2/178-191.pdf (Accessed 5 October 2016).

For citation: Sokolov S. V., Kostyuchenko D. V. Risk management of fire deaths in homes of urban settlements. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 61–74. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.61-74.



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.

Для заказа книги пишите нам по адресу:
121352, г. Москва, а/я 43,
или звоните по телефону
8 (495) 228-09-03.

Вы можете также оформить заказ через электронную почту:
mail@firepress.ru.

А. В. КАЛАЧ, д-р хим. наук, профессор, заместитель начальника по научной работе, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: a_kalach@mail.ru)

А. Н. ГУСАКОВ, старший преподаватель кафедры пожарной и аварийно-спасательной техники, Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: gusakov_an@vigps.ru)

С. В. ШАРАПОВ, д-р техн. наук, профессор, начальник института, Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35)

УДК 614.842.61

К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

На основе статистических данных по пожарам в Российской Федерации проведен анализ пожаров, происшедших на объектах по хранению, переработке и транспортировке нефти и нефтепродуктов в 2010–2014 гг. Указаны основные объекты, на которых произошли пожары, и основные причины их возникновения. Дан анализ состояния рынка пенообразователей в Российской Федерации на основании данных единого реестра сертификатов соответствия Федеральной службы по аккредитации "Росаккредитация". Проведена оценка возможностей российских производителей по импортозамещению пенообразователей, присутствующих на российском рынке. С учетом направлений развития техники и технических средств для тушения пожаров предложена концепция пожарного автомобиля пенного тушения.

Ключевые слова: пенное пожаротушение; пенообразователь; автомобиль пенного тушения; пожары в резервуарах; "твердая пена".

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.75-80

Анализ и обобщение статистических данных по пожарам на объектах, связанных с хранением, транспортировкой и переработкой нефти и нефтепродуктов, с 2010 по 2014 гг. показывают, что за этот период зафиксировано 362 пожара. Распределение пожаров по объектам представлено на рис. 1.

Установлено, что пожары в резервуарах вместимостью 5000 м³ и более тушатся в основном мобильной пожарной техникой. Это обусловлено тем, что автоматические установки пожаротушения зачастую оказывались поврежденными уже на начальной стадии пожара, возникшего в результате взрыва паровоздушной смеси, и поэтому не способны были выполнять возложенные на них функции. Стационарные системы пожаротушения использовались лишь в 19 % происшествий [1, 2]. При этом в большинстве случаев при возникновении пожаров на объектах нефтяной отрасли, кроме автоцистерн и автонасосов, на тушение пожара привлекались автомобили пенного тушения.

На совмещенном графике количества пожаров на данных объектах и частоты использования автомобилей пенного тушения видно, что данные показатели практически совпадают (рис. 2).

Известно, что пожары на объектах по хранению, транспортировке и переработке нефти и нефтепродуктов требуют значительных расходов огнетушащих веществ, большого количества личного состава



Рис. 1. Распределение пожаров по местам возникновения: 1 — нефтебазы, нефтехранилища; 2 — наружные установки предприятий нефтеперерабатывающей промышленности; 3 — открытые склады в таре; 4 — сливноналивные эстакады; 5 — нефтепроводы

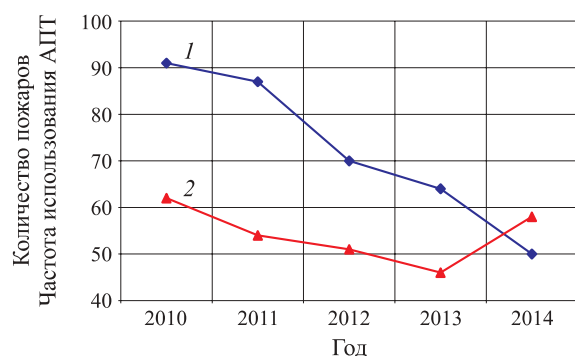


Рис. 2. Совмещенный график количества пожаров (1) на объектах нефтяной отрасли и частоты использования автомобилей пенного тушения (2) за 2010–2014 гг.

ва и техники. Такие пожары с трудом поддаются тушению, носят затяжной характер и, как правило, приводят к значительному экономическому и экологическому ущербу, поэтому проблемы безопасного хранения, переработки и транспортировки горючих жидкостей не теряют своей актуальности.

Во всем мире параллельно с развитием нефтегазовой отрасли ведется разработка новых, более эффективных, и совершенствование существующих технических средств борьбы с пожарами [2, 3].

Анализ данных по использованию основных пожарных автомобилей целевого применения за период 2005–2014 гг. позволил сделать вывод, что автомобили пенного тушения являются наиболее востребованными при тушении пожаров (рис. 3) [4].

На кафедре пожарной и аварийно-спасательной техники Воронежского института ГПС МЧС России в настоящее время проводится научно-исследовательская работа по разработке конструкции автомобиля пенного тушения с возможностью подачи различных видов огнетушащих пен, в том числе на основе структурированных частиц кремнезема.

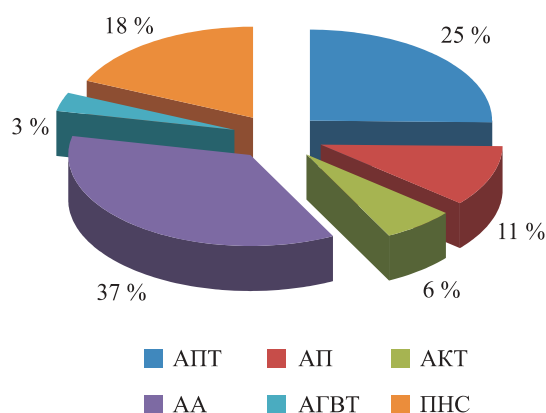


Рис. 3. Соотношение использования автомобилей целевого применения за период 2005–2014 гг.: АПТ — автомобили пенного тушения; АП — автомобили порошкового тушения; АКТ — автомобили комбинированного тушения; АА — пожарный аэродромный автомобиль; АГВТ — автомобили газозаводного тушения; ПНС — пожарная автонасосная станция

На протяжении многих десятилетий основным средством тушения пожаров на объектах по хранению нефти и нефтепродуктов остаются пены средней и низкой кратности, подаваемые на поверхность горючей жидкости через борт резервуара, непосредственно в слой горючего (так называемый подслойный метод тушения) или комбинированным способом [5, 6].

Для получения воздушно-механической пены применяются отечественные и зарубежные пенообразователи [3, 7].

Анализ состояния рынка пенообразователей в Российской Федерации на основании данных единого реестра сертификатов соответствия Федеральной службы по аккредитации “Росаккредитация” показал, что рынок насыщен сертифицированными для целей пожаротушения пенообразователями 174 типов, из них 119 (69 %) отечественного производства и 55 (31 %) — зарубежного. При проведении анализа учитывались только пенообразователи, выпускаемые под торговыми марками производителей [3, 7, 8].

В настоящее время на территории Российской Федерации находится 25 предприятий, выпускающих пенообразователи. Лидерами по производству пенообразователей являются ОАО “Ивхимпром” (г. Иваново), ЗАО “Эгида ПТВ” (г. Москва), а также ООО “Завод ТехноХимСинтез” (г. Уфа).

Проведенный анализ сертифицированных пенообразователей показал, что на российском рынке представлены:

- 1) пенообразователи общего назначения — 63 типа, из них:
 - российского производства — 55 (87 %);
 - зарубежного — 8 (13 %);
- 2) смачиватели только российских производителей;
- 3) пенообразователи целевого назначения — 108 типов, из них:
 - российского производства — 61 (57 %);
 - зарубежного — 47 (43 %).

В целом отечественные производители без снижения обеспечения безопасности объектов могут полностью заменить импортируемые пенообразователи [7].

В 2014 г. ООО “НПО СОПОТ” предложило использовать “твердую пену” [9]. Такая пена представляет собой двухкомпонентный состав, включающий раствор пенообразователя и композицию на основе структурированных частиц кремнезема (оксида кремния). Поверхностно-активные вещества, входящие в состав любого пенообразователя, способны адсорбировать на своей поверхности частицы оксида кремния, которые вводятся инъекционно, непосредственно перед подачей на горящую поверх-

ность, вызывая затвердевание пены в течение 5–30 с. Установлено, что “твердая пена” способна закрепляться на различных поверхностях, превращаясь в пористую губку, которая надежно изолирует поверхность от огня и высоких температур. В отличие от обычных пен, которые под действием температуры факела пламени и нагретой поверхности разрушаются, вспененный кремнезем способен выдерживать температуру до 1000 °С. При испарении воды кристаллизация аморфных частиц кремнезема лишь усиливается, кристаллический каркас уплотняется, и пена становится лишь прочнее. Полимеризованная пена не является твердой в обычном понимании этого слова. Она напоминает гель, который обладает мощной способностью адсорбировать воду, а впитав ее, размягчается и легко подвергается механическому разрушению [9].

Для подачи огнетушащих пен в процессе ликвидации пожаров необходима в первую очередь передвижная пожарная техника. Модельный ряд автомобилей пенного тушения в настоящее время представлен автомобилями на шасси грузовых автомобилей с колесной формулой 6×6 или 6×4, оборудованных емкостью для пенообразователя вместимостью от 4 до 10 м³ и насосной установкой производительностью от 40 до 100 л/с [10–13].

Проводимая на кафедре пожарной и аварийно-спасательной техники научно-исследовательская работа направлена на разработку пожарного автомобиля пенного тушения на шасси полуприцепа (рис. 4). Основными тактико-техническими характеристиками данного автомобиля являются подача насосной установки и запас вывозимого огнетушащего вещества (пенообразователя). Для определения данных параметров были приняты следующие исходные данные: диаметр резервуара 39,9 м (соответствующий вертикальному стальному резервуару вместимостью 20 тыс. м³, в котором хранится бензин с температурой вспышки ниже 28 °С); интенсивность подачи огнетушащего вещества 0,08 л/(м²·с); огнетушащее вещество — 6 %-ный раствор синтетического углеводородного пенообразователя общего назначения ПО-6СП; приборы подачи огнетушащего вещества — генераторы пены средней кратности ГПС-2000; расчетное время тушения 15 мин плюс время пода-

чи пены после ликвидации горения 5 мин; коэффициент запаса 3 по ГОСТ 31385–2008 и [5, 14, 15].

В результате проведенных расчетов были определены:

1) расчетная площадь пожара $S_{\text{п}}$ (м²):

$$S_{\text{п}} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 39,9^2}{4} = 1249,73, \quad (1)$$

где π — математическая константа;

d — диаметр резервуара, м;

2) требуемый расход $Q_{\text{тр}}^{\text{т}}$ (л/с) огнетушащего вещества на тушение:

$$Q_{\text{тр}}^{\text{т}} = S_{\text{п}} I_{\text{тр}}^{\text{т}} = 1249,73 \cdot 0,08 = 99,98, \quad (2)$$

где $I_{\text{тр}}^{\text{т}}$ — нормативная интенсивность подачи огнетушащего вещества, л/(м²·с);

3) требуемое количество приборов (в данном случае ГПС-2000) $N_{\text{приб}}^{\text{т}}$ для подачи огнетушащего вещества:

$$N_{\text{приб}}^{\text{т}} = \frac{Q_{\text{тр}}^{\text{т}}}{Q_{\text{приб}}} = \frac{99,98}{20} = 4,9 \approx 5, \quad (3)$$

где $Q_{\text{приб}}$ — расход 6 %-ного раствора пенообразователя, л/с;

4) требуемый расход пенообразователя $Q_{\text{ф.ПО}}^{\text{т}}$ (л/с) на тушение пожара:

$$Q_{\text{ф.ПО}}^{\text{т}} = N_{\text{приб}}^{\text{т}} Q_{\text{приб}} = 5 \cdot 1,2 = 6; \quad (4)$$

5) необходимый запас пенообразователя $Q_{\text{общ}}^{\text{ПО}}$ (м³) для тушения пожара:

$$Q_{\text{общ}}^{\text{ПО}} = Q_{\text{ф.ПО}}^{\text{т}} \cdot 60 \tau_{\text{туш}} K_3 = 5 \cdot 1,2 \cdot 60 \cdot 20 \cdot 3 = 21600 \text{ л} = 21,6 \text{ м}^3, \quad (5)$$

где $\tau_{\text{туш}}$ — нормативное время подачи огнетушащего вещества, мин;

K_3 — коэффициент запаса.

В соответствии с проведенными расчетами основные показатели разрабатываемого автомобиля должны отвечать следующим требованиям:

- высокая проходимость, что должно быть обеспечено полноприводным шасси и активным полуприцепом;
- высокая производительность насосной установки — более 100 л/с;
- объем огнетушащих веществ более 20 м³;

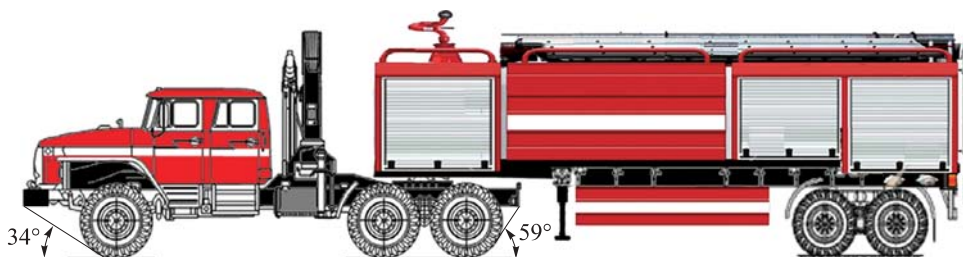


Рис. 4. Проект автомобиля пенного тушения на шасси полуприцепа

- надежная работа в условиях низких температур, обогрев систем и агрегатов автомобиля выхлопными газами;
- возможность подачи различных видов пен при тушении пожаров (низкой и средней кратности, компрессионной, на основе структурированных частиц);
- обеспечение безопасности личного состава. Выполнение научно-исследовательской работы по разработке пожарного автомобиля пенного тушения на шасси полуприцепа позволит повысить уровень защищенности объектов по хранению нефти и нефтепродуктов за счет повышения эффективности использования мобильной пожарной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексный анализ обстановки с пожарами, произошедшими в Российской Федерации в 2005–2014 гг. — М. : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2015. — 923 с.
2. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
3. Воевода С. С., Молчанов В. П., Бастриков Д. Л., Крутов М. А. Применение различных пенообразователей для тушения пожаров горючих жидкостей // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 70–72.
4. Калач А. В., Шарапов С. В., Гусаков А. Н. Исследование статистики применения пожарной техники для тушения пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 6. — С. 48–54. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.48-54.
5. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. — М. : ГУ ГПС – ВНИИПО – МИПБ, 1999. — 47 с.
6. Nolan D. P. Handbook of fire and explosion protection engineering principles. 3rd ed. — Westwood (New Jersey), USA : William Andrew, 2014. — 487 p.
7. Гусаков А. Н. Анализ пенообразователей для целей пожаротушения на российском рынке // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов : материалы III Всероссийской научно-практической конференции. — Иваново, 2016. — С. 24–28.
8. Тайсумов Х. А., Назаров В. П., Присяжнюк Н. Л., Орехов В. А., Карасев С. П. Современные проблемы использования пенообразователей для тушения пожаров // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 10. — С. 35–38.
9. Официальный сайт ООО “НПО СОПОТ”. URL: <http://www.sopot.ru> (дата обращения: 10.09.2016).
10. Официальный сайт ОАО “Пожтехника”. URL: <http://www.pozhtekhnika.ru> (дата обращения: 12.09.2016).
11. Официальный сайт АО “УралПОЖТЕХНИКА”. URL: <http://www.uralpt.ru> (дата обращения: 12.09.2016).
12. Официальный сайт ПО “Берег”. URL: <http://www.po-bereg.ru> (дата обращения: 12. 09. 2016).
13. Chmiel M., Markowski T., Kowalczyk A. Firefighting vehicles classification, labelling and division // Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza (Safety & Fire Technique). — 2013. — Vol. 32, Issue 4. — P. 67–78. DOI: 10.12845/bitp.32.4.2013.8.
14. Lattimer B. Y., Hanauska Ch. P., Scheffey J. L., Williams F. W. The use of small-scale test data to characterize some aspects of fire fighting foam for suppression modeling // Fire Safety Journal. — March 2003. — Vol. 38, Issue 2. — P. 117–146. DOI: 10.1016/s0379-7112(02)00054-1.
15. Иванников В. П., Ключ П. П. Справочник руководителя тушения пожара. — М. : Стройиздат, 1987. — 288 с.

Материал поступил в редакцию 19 октября 2016 г.

Для цитирования: Калач А. В., Гусаков А. Н., Шарапов С. В. К вопросу о совершенствовании технологии и техники пенного пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 75–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.75-80.

English

IMPROVEMENT OF FOAMY FIRE EXTINGUISHING TECHNOLOGY

KALACH A. V., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Deputy Head of the Institute for Research, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: a_kalach@mail.ru)

GUSAKOV A. N., Senior Lecturer of Fire Safety Technological Processes Department, Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail: gusakov_an@vigps.ru)

SHARAPOV S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Institute, Research Institute for Advanced Research and Innovation in the Field of Health and Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Quay, 35, Saint Petersburg, 193079, Russian Federation)

ABSTRACT

The article raises a topical issue — the improvement of mobile fire-fighting equipment to extinguish fires on oil and oil products storage and processing facilities.

During the analysis of fire at these facilities over five years it's founded that the annual number of fires remains high. Despite the advances in science and technology, fire safety, oil and petroleum products storage facilities are the most dangerous and difficult to extinguish. To extinguish fires at these objects foam tenders are used, besides water tenders and pumpers, application of which is the most important while putting out large tanks. With greater importance in ensuring the security of storage facilities and processing of oil and oil products, foam extinguishing vehicles for many years remain substantially unchanged in its basic performance characteristics.

In addition, the analysis of blowing agents in the Russian market led to the conclusion that the blowing agent market is now fairly saturated, and Russian producers without compromising the safety of objects can fully replace imported manufacturers.

Most of the fires on oil and petroleum products storage facilities is extinguished using a mobile fire-fighting equipment and fire extinguishing agent is the main air-mechanical foam of low and medium ratio and there is a need to consider to create an innovative car foam extinguishing. The design of such a vehicle comprises feeding the fire to extinguish not only mechanical foam, and the foam structured silica particles. At the same time, the car is characterized by high permeability, increased supply of the pumping unit, the increased supply of extinguishing agent with the creation of three-time stock frother.

The creation of such a vehicle would enhance the effectiveness of action fire departments to extinguish fires by improving the functionality and performance characteristics of the foam extinguishing vehicle that will also improve the fire safety of the objects under consideration.

Keywords: fire-fighting foam; foaming agent; car foam extinguishing; fires in reservoirs; “rigid foam”.

REFERENCES

1. *Comprehensive analysis of the situation with the fires that have taken place in the Russian Federation in 2005–2014*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2015. 923 p. (in Russian).
2. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Fire extinguishing of oil and oil products*. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p. (in Russian).
3. Voevoda S. S., Molchanov V. P., Bastrikov D. L., Krutov M. A. Application of different foaming agents for extinguishing of flammable liquids' fires. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 70–72 (in Russian).
4. Kalach A. V., Sharapov S. V., Gusakov A. N. Study of statistics fire equipment for fire extinguishing. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 48–54 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.48-54.
5. *Guide to extinguish oil and petroleum products in tanks and tank farms*. Moscow, Head Department of State Fire Service – All-Russian Research Institute for Fire Protection – Moscow Institute of Fire Safety Publ., 1999. 47 p. (in Russian).
6. Nolan D. P. *Handbook of fire and explosion protection engineering principles*. 3rd ed. Westwood (New Jersey), USA, William Andrew, 2014. 487 p.
7. Gusakov A. N. Analysis of blowing agents for fire fighting purposes in the Russian market. In: *Actual issues of improving the engineering systems of fire safety facilities. Proceedings of III All-Russian Scientific and Practical Conference*. Ivanovo, 2016, pp. 24–28 (in Russian).

8. Taysumov Kh. A., Nazarov V. P., Prisyazhnyuk N. L., Orekhov V. A., Karasev S. P. The modern problems of using foaming agents for fires suppression. *Bezopasnost zhiznedeyatelnosti (Life Safety)*, 2009, no. 10, pp. 35–38 (in Russian).
9. The official website of the Science Production Joint of the Contemporary Fire Fighting Technologies (SOPOT) (in Russian). Available at: <http://www.sopot.ru> (Accessed 10 September 2016).
10. The official website of OAO "Pozhtekhnika" (in Russian). Available at: <http://www.pozhtekhnika.ru> (Accessed 12 September 2016).
11. The official website of AO "UralPOZHTEKHNIKA" (in Russian). Available at: <http://www.uralpt.ru> (Accessed 12 September 2016).
12. The official website of PO "Bereg" (in Russian). Available at: <http://www.po-bereg.ru> (Accessed 12 September 2016).
13. Chmiel M., Markowski T., Kowalczyk A. Firefighting vehicles classification, labelling and division. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza (Safety & Fire Technique)*, 2013, vol. 32, issue 4, pp. 67–78. DOI: 10.12845/bitp.32.4.2013.8.
14. Lattimer B. Y., Hanauska Ch. P., Scheffey J. L., Williams F. W. The use of small-scale test data to characterize some aspects of fire fighting foam for suppression modeling. *Fire Safety Journal*, March 2003, vol. 38, issue 2, pp. 117–146. DOI: 10.1016/s0379-7112(02)00054-1.
15. Ivannikov V. P., Klyus P. P. *Manual of the head of fire extinguish ment*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1987. 288 p. (in Russian).

For citation: Kalach A. V., Gusakov A. N., Sharapov S. V. Improvement of foamy fire extinguishing technology. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 75–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.75-80



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

**ВОПРОС:**

При выборе оборудования для работы во взрывоопасных средах важное значение имеет правильный подход к определению классов взрывоопасных зон и их размеров. На основании этого появляется возможность более точно определить количество безопасного оборудования и конкретизировать место его расположения.

Какими методиками следует пользоваться для оценки размеров взрывоопасных зон и в чем их отличия?

ОТВЕТ:

Отдельного национального стандарта с методикой расчета размеров взрывоопасных зон нет. Однако можно оценить размеры взрывоопасных зон, ограничивающие область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), по ГОСТ Р 12.3.047 [1], СП 12.13130 [2] или по Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [3], исходя из геометрических размеров взрывоопасной зоны, образующейся при аварийной ситуации.

Согласно ГОСТ Р 12.3.047 [1] радиус $R_{\text{НКПР}}$ и высоту $Z_{\text{НКПР}}$ взрывоопасной зоны при неподвижной воздушной среде можно определить по формулам¹:

а) для горючих газов (ГГ):

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33};$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33};$$

б) для паров легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ):

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33};$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33},$$

где $m_{\text{Г}}$ — масса ГГ, поступившего в открытое пространство при пожароопасной (аварийной) ситуации, кг (см. п. А.1.2, А.2.5, А.2.6 прил. А [1]);

$\rho_{\text{Г}}$ — плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м³;

$m_{\text{п}}$ — масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время испарения, но не более чем за 3600 с, кг (см. п. А.1.2, А.2.5, А.2.7 прил. А [1]);

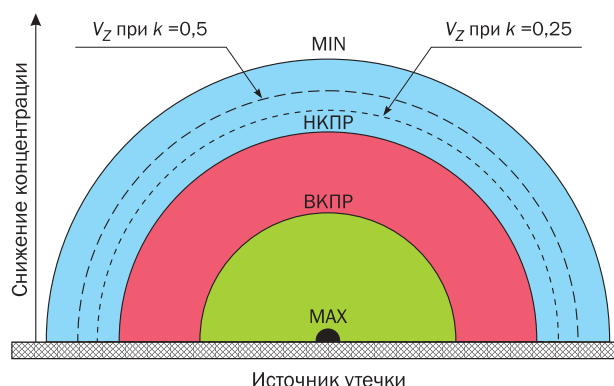
$\rho_{\text{п}}$ — плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре², кг/м³;

$C_{\text{НКПР}}$ — нижний концентрационный предел распространения пламени ГГ или паров, % об.

Объем взрывоопасной зоны V (м³) рассчитывается исходя из того, что зона представляет собой цилиндр высотой $Z_{\text{НКПР}}$ с основанием радиусом $R_{\text{НКПР}}$, т. е.

$$V = \pi R_{\text{НКПР}}^2 Z_{\text{НКПР}}.$$

В международном стандарте [5] представлен метод оценки гипотетического объема V_z взрывоопасной зоны (исключая аварийную ситуацию) как в помещении, так и на открытой территории. Под гипотетическим объемом понимается объем, за пределами которого средняя концентрация взрывоопасной смеси газа или пара составляет менее 0,25 или 0,50 от НКПР в зависимости от значения коэффициента безопасности k . Это означает, что для самых худших случаев оценки V_z концентрация газа или пара будет значительно ниже НКПР, т. е. в реальности объем взрывоопасной смеси, в котором концентрация выше НКПР, будет значительно меньше V_z (см. рисунок).



Условное распределение гипотетического объема V_z взрывоопасной зоны в концентрационных пределах смеси паров ЛВЖ (ГГ) с воздухом

Коэффициент безопасности k выбирается в зависимости от степени утечки горючего вещества. При непрерывной утечке и первой степени утечки $k = 0,25$, а при второй — $k = 0,5$.

¹ Аналогичные формулы для расчета радиуса и высоты взрывоопасной зоны указаны также в методике [3]. В своде правил [2] приведены другие формулы для расчета размеров зон. При этом и ГОСТ [1], и СП [2] включены в перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона № 123-ФЗ [4], что создает затруднения при использовании ими.

² Следует отметить, что в документах [1, 3] плотность паров ЛВЖ $\rho_{\text{п}}$ измеряется в кПа, что является ошибочным, так как это единица измерения давления.

Для закрытых помещений V_z рассчитывается по формуле

$$V_z = f V_k = \frac{f(dV/dt)_{\min}}{C},$$

где f — коэффициент эффективности рассеивания взрывоопасной смеси, который находится в пределах от 1 (идеальная ситуация при мгновенном перемешивании ГГ или паров ЛВЖ и свежего воздуха при однородной смеси) до 5 (если имеется препятствие для воздушного потока);

V_k — отношение между минимальным объемным расходом свежего воздуха $(dV/dt)_{\min}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) и фактической кратностью воздухообмена C (с^{-1}); $V_k = \frac{(dV/dt)_{\min}}{C}$.

Для открытых пространств V_z вычисляется по формуле

$$V_z = \frac{f(dV/dt)_{\min}}{0,03},$$

где 0,03 — кратность воздухообмена в секунду при скорости ветра около 0,5 м/с.

Гипотетический объем V_z является важным показателем, отражающим границы возможной взрывоопасной зоны, однако он не позволяет определить ее размеры. Это связано с тем, что размеры зоны зависят преимущественно от условий вентиляции и мест расположения источников утечки относительно устройств вентиляции. В связи с этим для оценки размеров взрывоопасных зон по ГОСТ ИЕС 60079-10-1 [5] необходимо дополнительно пользоваться отраслевыми нормами и рекомендациями для взрывоопасных производств, например правилами безопасности в нефтяной и газовой промышленности [6] (см. приложение 3), или использовать компьютерное моделирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 12. 3.047–2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 01.01.2014. — М. : Стандартинформ, 2014.
2. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
3. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : утв. приказом МЧС РФ от 10.05.2009 № 404 (в ред. приказа МЧС РФ от 14.12.2010 № 649); введ. 04.03.2011. — М. : МЧС РФ, 2011.
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 03.07.2016) : 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.
5. ГОСТ ИЕС 60079-10-1–2013. Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды. — Введ. 01.07.2015. — М. : Стандартинформ, 2014.
6. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности (в ред. от 12.01.2015) : утв. приказом Ростехнадзора от 12.03.2013 № 101; введ. 18.12.2013. — М. : Ростехнадзор, 2013.

*Ответ подготовили сотрудники кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России: канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ **В. Н. ЧЕРКАСОВ**; старший преподаватель **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ** (e-mail: h_a_s@live.ru)*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ” 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. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность.

Не допускается направление в редакцию работ, 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 электронному адресу (info@fire-smi.ru), а также в бумажном виде по почте (121352, Российская Федерация, г. Москва, а/я 43). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана всеми авторами.

2. 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 недопустимы транслитерации с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается 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 Госдепартамента США, 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, индекс, страну, 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 ведомству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), что 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 в статье теме. Аннотация к научной статье представляет собой короткое описание содержания изложен-

ного текста (т. е.: “Изучены..., проанализированы..., представлены...” и т. п.).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются 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 (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 текста авторского резюме должен быть не менее 250–300 слов.

Требуется структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи. Метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

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

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

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

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

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

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

2.6. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). 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) и т. п.

2.7. Основной текст статьи должен быть ясным, лаконичным и структурированным. Редакция рекомендует деление текста на традиционные для научной статьи разделы: введение (актуальность, состояние вопроса), цели и задачи, материалы и методы, результаты и их обсуждение, заключение (выводы). Редакция допускает и иную структуру соответственно специфике конкретной статьи при условии четкого выделения разделов.

Текст должен быть набран через 1,5 интервала и предоставляться в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки.

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

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 представляются 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 напечатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций не приемлемы. 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.

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.

Список литературы должен содержать не менее 10 источников (не включая в это число нормативные документы, патенты и т. п.), в том числе не менее 3 иностранных. Выполнение данного требования будет свидетельствовать о том, что авторы используют предыдущие научные достижения в необходимой мере.

Не менее половины источников должны быть включены 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 5 современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

В списке литературы не должно быть более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

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 принятым. 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 сверху флажок «Американская (для визы США)»);
- перевод названия книги (статьи) на английский язык;
- перевод названия источника (журнала, сборника статей, материалов конференции и т. п.); при этом для журналов следует привести комбинацию транслитерации названия и его перевода (в скобках);
- выходные данные;
- указание на язык материала в скобках.

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).

Примеры описаний в References можно найти на сайте издательства (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. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

5. Статьи, присланные в редакцию не в полном объеме, к рассмотрению не принимаются.

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



securika
Moscow

Москва

**21–24
марта
2017**

ЦВК «Экспоцентр»



Видеонаблюдение



Контроль
доступа



Охрана
периметра



Противопожарная
защита



Сигнализация
и оповещение



Автоматизация
зданий

РЕКЛАМА



Организатор
Группа компаний ITE
+7 (495) 935-73-50
security@ite-expo.ru

securika-moscow.ru

Получите бесплатный электронный
билет, указав промо-код

sec17pNYNA





Красноярск

24–26
мая 2017



При поддержке Национального
антитеррористического комитета

0+

**XIII Всероссийский
специализированный форум-выставка**

АНТИТЕРРОР

современные
системы
безопасности

Информационная безопасность

- Технические средства и системы безопасности
- Инженерно-технические средства физической защиты
- Пожарная безопасность
- Аварийно-спасательное оборудование. Транспорт
- Экипировка. Индивидуальные средства защиты

**Деловая программа с участием представителей
федеральной власти**



сибирь
международный
выставочно-деловой центр
имени Карена Мурадяна

Организаторы:



ИТОГИ выставки 2016 г.:
92 экспонента
8800 посетителей
717 специалистов отрасли из
40 территорий РФ

МВДЦ «СИБИРЬ», ул. Авиаторов, 19
тел. (391) 22-88-400, ccb@krasfair.ru
www.krasfair.ru