

3-2017

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ
ТУШЕНИЯ ПОЖАРА
В РЕЗЕРВУАРАХ ПЕНОЙ

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



securika
Moscow



Москва

**21–24
марта
2017**

ЦВК «Экспоцентр»

РЕКЛАМА



Видеонаблюдение



Контроль
доступа



Охрана
периметра



Противопожарная
защита



Сигнализация
и оповещение



Автоматизация
зданий



Организатор
Группа компаний ITE
+7 (495) 935-73-50
security@ite-expo.ru

securika-moscow.ru

Получите бесплатный электронный
билет, указав промо-код

sec17pNYNA



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ЕВДОКИМОВ В. И., ПОТАШЕВ Д. А., КОРОБЕЙНИКОВА Е. Г.
Структура изобретений по физико-химическим основам
развития и прекращения горения
в России (1994–2016 гг.)

5

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

EVDOKIMOV V. I., POTASHEV D. A., KOROBAYNIKOVA E. G.
Structure of the inventions in physical and chemical basis
of combustion development and termination
in Russia (1994–2016)

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

ЕРЕМИНА Т. Ю., ТРЕГУБОВА И. В., ТИХОНОВА Н. В.
Пожарная безопасность спортивных сооружений:
российские и международные нормы проектирования,
инновационные решения в области пожарной безопасности

12

EREMINA T. Yu., TREGUBOVA I. V., TIKHONOVA N. V.
Sports facility fire safety:
Russian and international design standards,
fire safety innovative solutions

СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

КАЙБИЧЕВ И. А., КАЙБИЧЕВА Е. И.
Расчет индекса пожаров в Российской Федерации
за 2011–2015 годы

23

KAIBICHEV I. A., KAIBICHEVA E. I.
Fire index in Russian Federation
for 2011–2015 years

ПОЖАРНАЯ ОХРАНА

FIRE SECURITY

ТАРАНЦЕВ А. А., ХОЛОСТОВ А. Л.,
ИЩЕНКО А. Д., ПОТАПЕНКО В. В.
О задачах анализа и синтеза систем
обслуживания заявок нескольких типов

31

TARANTSEV A. A., KHOLOSTOV A. L.,
ISHCHENKO A. D., POTAPENKO V. V.
Problems of analysis and synthesis of application
service systems of several types

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

FIRE AUTOMATIC

ЗЫКОВ В. И., ПОЛЯКОВ Ю. А., ФОМИН В. И.
Экспериментальное определение быстродействия
пленочного термосенсора в системах пожарной сигнализации

39

ZYKOV V. I., POLYAKOV Yu. A., FOMIN V. I.
Experimental determination of performance
of planetmaster in fire alarm systems

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

ГЕРГЕЛЬ В. И., МЕШАЛКИН Е. А.
Пожаротушение тонкораспыленной водой высокого давления

45

GERGEL V. I., MESHALKIN E. A.
Fire extinguishing by finely-dispersed water of high pressure

МЕЛЬНИКОВ В. С., КИРИЛЛОВ С. В., МЕЛЬНИКОВ М. В.,
ЩЕРБАКОВ М. И., ГАРСКОВ Р. В.
Тактическое термографирование процесса тушения
пожара устройством высокоскоростной подачи
огнетушащего вещества

51

MELNIKOV V. S., KIRILLOV S. V., MELNIKOV M. V.,
SHCHERBAKOV M. I., GARSKOV R. V.
Tactical thermography of fire extinguishing process
by the device using high speed flow of fire
extinguishing agent

ДУШКИН А. Л., ЛОВЧИНСКИЙ С. Е.,
РЯЗАНЦЕВ Н. Н., СЕГАЛЬ М. Д.
Особенности пожаротушения в замкнутом объеме
тонкораспыленной водой

60

DUSHKIN A. L., LOVCHINSKIY S. E.,
RYAZANTSEV N. N., SEGAL M. D.
Enclosure finely-dispersed water
fire fighting features

КОПЫЛОВ Н. П., ГОРШКОВ В. И.,
КОПЫЛОВ С. Н., ФЕДОТКИН Д. В.
Исследование температурных режимов
тушения пожара в резервуарах пеной

70

KOPYLOV N. P., GORSHKOV V. I.,
KOPYLOV S. N., FEDOTKIN D. V.
Investigation of temperature regimes
of foam fire extinguishing in the tanks

ВОПРОС – ОТВЕТ

77

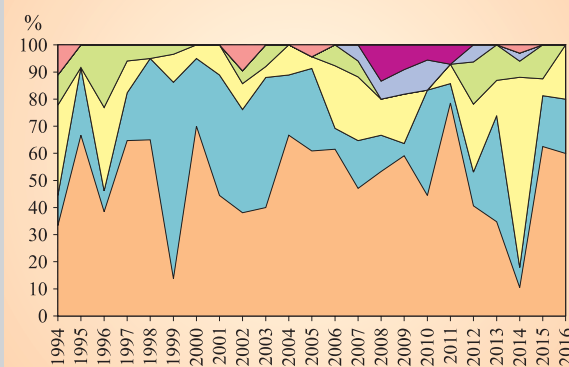
QUESTION – ANSWER

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.



Структура изобретений по основам процессов горения

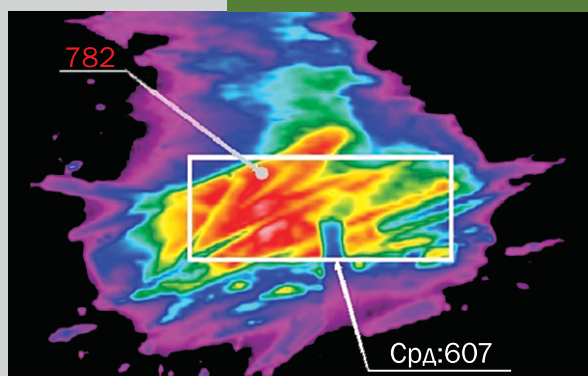


Пожарная безопасность спортивных сооружений

Стр. 5



Пожаротушение тонкораспыленной водой

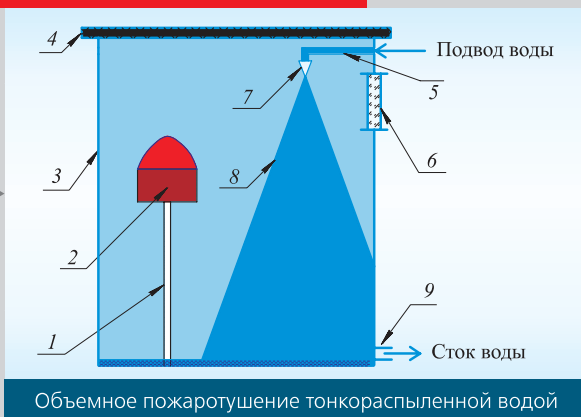


Стр. 45

Тактическое термографирование процесса тушения

Стр. 51

Стр. 60



Объемное пожаротушение тонкораспыленной водой

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 14.03.2017. Выход в свет 24.03.2017.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "ДИАЛОГ"

(125315, г. Москва, Ленинградский просп., д. 80, корп. Г).

**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 14.03.2017
Date of publication 24.03.2017
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. И. ЕВДОКИМОВ, д-р мед. наук, профессор, кафедра безопасности жизнедеятельности, экстремальной и радиационной медицины, Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 4/2; e-mail: 9334616@mail.ru)

Д. А. ПОТАШЕВ, преподаватель-методист института развития, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: dim-po@igps.ru)

Е. Г. КОРОБЕЙНИКОВА, канд. хим. наук, доцент, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: korhelen2012@gmail.com)

УДК [614.841.12:536.46]:001.894

СТРУКТУРА ИЗОБРЕТЕНИЙ ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ОСНОВАМ РАЗВИТИЯ И ПРЕКРАЩЕНИЯ ГОРЕНИЯ В РОССИИ (1994–2016 гг.)

Представлен анализ 3297 патентов на изобретения по пожарной безопасности, выданных Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам в 1994–2016 гг., в том числе 515 по физико-химическим основам развития и прекращения горения (15,6 % от общего количества изобретений по пожарной безопасности). Отмечается, что патентов, соотнесенных с классом А62 "Спасательная служба; противопожарные средства" Международной патентной классификации, было 44,3 %, при этом в 31,9 % изобретений патентообладателями выступали отечественные физические лица, в 8,1 % — иностранные заявители, в 2,3 % — учреждения МЧС России. Ежегодно патентовались по (22 ± 3) изобретения. Наблюдается динамика небольшого увеличения количества патентов на изобретения при относительной стабилизации их доли в общем массиве изобретений по пожарной безопасности в России. Показано, что изобретения по огнетушащим (огнегасящим) составам составили 44,8 %, огнезащитным и теплозащитным покрытиям и составам для их изготовления — 24,7 %, строительным и конструкционным материалам с пониженной пожарной опасностью — 19,8 %, способам и устройствам снижения пожарной опасности процессов получения веществ — 6,3 %, определению показателей пожарной опасности — 1,9 %, разработке и усовершенствованию способов прекращения горения — 1,2 %, прочие — 1,6 %. Сделан вывод, что анализ изобретений позволяет прогнозировать развитие отрасли знания в сфере физико-химических основ развития и прекращения горения.

Ключевые слова: пожар; пожарная безопасность; физико-химические основы развития горения; огнетушащий (огнегасящий) состав; огнезащитное покрытие; изобретения; патенты; Международная патентная классификация; Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам России (Роспатент).

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.5-11

Введение

Россия — страна с самыми высокими рисками возникновения пожаров и тяжести их последствий в мире [1]. По статистике в период 1996–2015 гг. в России ежедневно возникали в среднем 539 пожаров, в которых погибал 41 чел. и получали травмы 36 чел., материальный ущерб от пожаров достигал 24 млн. руб. Ежедневно при ликвидации пожаров сотрудники МЧС России спасали 200 чел. и материальные ресурсы на сумму 81,8 млн. руб. [2]. В связи с этим разработка инноваций по профилактике и ликвидации пожаров имеет важное экономическое значение [3–6].

Изобретение — техническое решение в любой области, относящееся к продукту (в частности, к устройству, веществу, штамму микроорганизма, культуре клеток растений или животных) или способу (процессу реализации действий над материальным объектом с помощью материальных средств) [7]. Регистрацию, учет и выдачу патентов на изобретения в России проводит Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент).

Проведенные исследования позволили найти в базе данных Федерального института промышленной собственности (ФИПС) Роспатента за 1994–2016 гг.

3297 патентов на изобретения в сфере пожарной безопасности, выданных в России. Они составили $(0,55 \pm 0,02)$ % от общего массива всех российских изобретений. Ежегодно патентовались (143 ± 8) изобретений. Полиномиальный тренд при невысоком коэффициенте детерминации ($R^2 = 0,61$) показывает тенденцию увеличения выдачи патентов по пожарной безопасности при стабилизации их вклада ($R^2 = 0,01$) в общий массив патентов на изобретения в России (рис. 1).

На основании технического регламента [8] найденные патенты на изобретения были сведены в обобщенные группы (рис. 2). Среди них необычай-



Рис. 1. Динамика количества патентов на изобретения по пожарной безопасности и их вклада в общий массив патентов в России за 1994–2016 гг.



Рис. 2. Распределение патентов на изобретения по пожарной безопасности в России по тематике (1994–2016 гг.)

но мало оказалось изобретений по пожарной безопасности зданий и сооружений (6,3 %), хотя основная масса людей погибает именно при пожарах в зданиях, и пожарной безопасности лесов (5,8 %), притом что в нашей стране сосредоточено около 20 % лесов мира.

Физико-химическим основам развития и прекращения горения было посвящено 15,6 % отечественных изобретений. Вопросы повышения эффективности огнетушащих (огнегасящих) составов и огнезащитных покрытий нашли отражение в отечественных [9–10] и зарубежных [11–17] публикациях.

Цель исследования — анализ изобретений по физико-химическим основам развития и прекращения горения, зарегистрированных Роспатентом в 1994–2016 гг.

Материалы и методы

Объект исследования — справочно-информационный ресурс “Информационно-поисковая система” (<http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS>) ФИПС Роспатента. Поисковыми условиями являлись: сокращенные поисковые слова “пожар* ИЛИ(ог) огнео*”, соединенные оператором присоединения, что позволяло находить их в названии изобретения или реферате отдельно или вместе; период времени — 1994–2016 гг. Подробный алгоритм поиска изобретений раскрыт в публикации [18].

Патенты на изобретения по физико-химическим основам развития и прекращения горения были соотнесены рутинным способом со следующими обобщенными группами:

1-я — огнетушащие (огнегасящие) составы, в том числе на основе неорганических веществ, пенообразователи и пенообразующие составы и охлаждающие составы для огнетушащих аэрозолей;

2-я — огнезащитные и теплозащитные покрытия, составы для их изготовления, в том числе вспучивающиеся (вспенивающиеся) огнезащитные покрытия;

3-я — строительные и конструкционные материалы с пониженной пожарной опасностью, в том числе получение веществ с заданными свойствами;

4-я — снижение пожарной опасности процессов получения веществ;

5-я — определение показателей пожарной опасности, в том числе путем создания измерительных комплексов;

6-я — разработка и усовершенствование способов прекращения горения;

7-я — прочие.

При необходимости посредством ресурса “Открытые реестры” (<http://www1.fips.ru/wps/portal/Registers/>) открывали полный текст патента и изучали его.



Рис. 3. Динамика количества патентов на изобретения по физико-химическим основам развития и прекращения горения и их вклада в массив патентов по пожарной безопасности в России за 1994–2016 гг.

Библиографические записи и рефераты патентов на российские изобретения по физико-химическим основам развития и прекращения горения за 1994–2015 гг. представлены в библиографическом указателе [19].

Результаты и их анализ

Как уже было отмечено выше, в 1994–2016 гг. изобретений по физико-химическим основам развития и прекращения горения было зарегистрировано 515. Ежегодно патентовались (22 ± 3) изобретения. Полиномиальные тренды при низких коэффициентах детерминации ($R^2 = 0,16$ и $R^2 = 0,02$ соответственно) показали небольшое увеличение количества изобретений и относительную стабилизацию доли патентов в общем массиве изобретений по пожарной безопасности в России (рис. 3).

Уместно заметить, что в 2014 г. отмечается значительный рост количества изобретений за счет патентования пожаробезопасного состава бумажно-слоистого пластика. Вклад изобретений по физико-химическим основам развития и прекращения горения в общий массив изобретений по пожарной безопасности в России в 1994–2016 гг. составил ($15,1 \pm 1,0$) %.

Как правило, изобретения по физико-химическим основам развития и прекращения горения соотносятся с классом А62 “Спасательная служба; противопожарные средства” Международной патентной

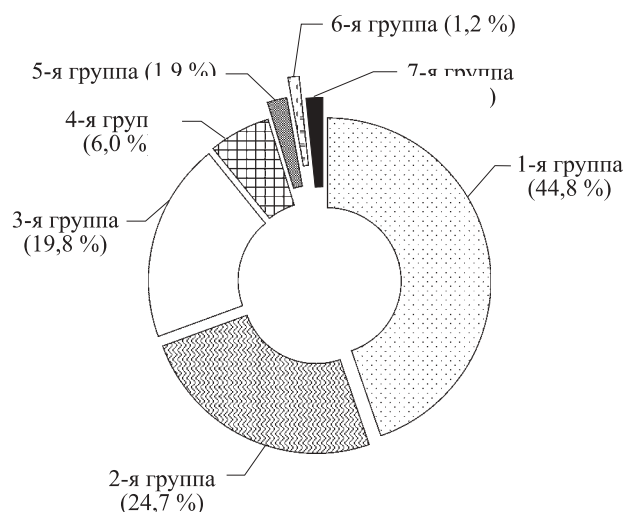


Рис. 4. Структура массива изобретений по физико-химическим основам развития и прекращения горения (1994–2016 гг.)

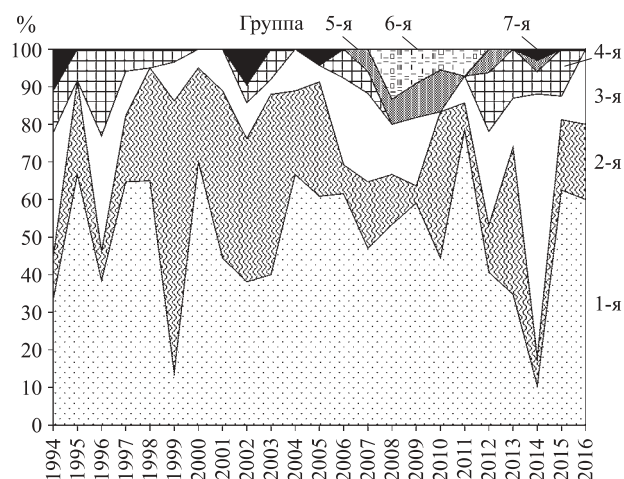


Рис. 5. Динамика структуры массива патентов на изобретения по физико-химическим основам развития и прекращения горения

классификации (МПК), подклассом — А62D “Химические средства тушения пожаров...” [20]. Оказалось, что 55,7 % изученных патентов не были сопоставлены с указанными рубриками МПК. Например, многие изобретения раздела были соотнесены с классами C01–C10 раздела C “Химия; металлургия” МПК, изобретения по распылению, нанесению жидкостей и других текучих материалов на поверхности — с рубриками класса B05 “Способы и устройства общего назначения для распыления...” и т. д. Нельзя также исключить и человеческий фактор, так как в ряде изобретений явно указывалась сфера действия — пожарная безопасность. Полагая, что сотрудникам Роспатента следует более внимательно осуществлять каталогизацию изобретений. Из вышесказанного следует, что проведение анализа изобретений по пожарной безопасности только

по классу А62 МПК может привести к искажению результатов.

В 31,9 % изобретений патентообладателями были отечественные физические лица, в 8,1 % — иностранные заявители; в общем массиве изобретений по пожарной безопасности они составили соответственно 31,6 и 8,1 %. Чрезвычайно мало оказалось патентов на изобретения, патентообладателями которых являлись учреждения (организации) МЧС России. За 2002–2016 гг. они были патентообладателями только в 13 изобретениях (2,3 %), что составило в общем массиве по пожарной безопасности России 4,4 %.

Структура массива изобретений по физико-химическим основам развития и прекращения горения представлена на рис. 4. Наиболее многочисленными были изобретения 1, 2 и 3-й групп. Они составили соответственно около 45, 25 и 20 %, а в сумме — 90 % от массива изобретений по физико-химическим основам развития и прекращения горения.

Динамика изменения структуры массива патентов по физико-химическим основам развития и прекращения горения с 1994 по 2016 гг. представлена на рис. 5. В связи с низкой долей изобретений 4–7-й групп анализ их динамики не проводился.

Из рис. 5 видно, что отмечается значительная вариабельность динамики изменения количества патентов 1-й группы. При низком коэффициенте детерминации ($R^2 = 0,04$) тренд показывает их незначительное увеличение. Несмотря на значительный вклад патентов этой группы в массив всех изобретений по физико-химическим основам развития и прекращения горения (см. рис. 4), конгруэнтность кривых динамики для изобретений 1-й группы и общего массива низкая ($r = 0,32$; $p > 0,05$). Изобретения по огнегасящим составам на основе неорганических веществ составили 10,4 %, пенообразователям и пенообразующим составам — 19,5 %, охлаждающим составам для огнетушащих аэрозолей — 2,2 %.

При низких коэффициентах детерминации ($R^2 = 0,01$ и $R^2 = 0,17$ соответственно) полиномиаль-

ный тренд патентов 2-й группы приближается к прямой линии, а 3-й показывает увеличение количества изобретений, в основном за счет значительного роста их числа в 2014 г. Уместно заметить, что 15,8 % изобретений 2-й группы составили изобретения по составам, пожаробезопасность которых определялась вспучивающимися (вспенивающимися) свойствами.

Выводы

Поисковый режим позволил выявить в базе данных Роспатента в 1994–2016 гг. 515 патентов на изобретения в сфере физико-химических основ развития и прекращения горения. Они составили 15,6 % от общего количества изобретений по пожарной безопасности. Ежегодно патентовались (22 ± 3) изобретения. Отмечается небольшое увеличение количества патентов на изобретения по физико-химическим основам развития и прекращения горения при относительной стабилизации их доли в общем массиве изобретений по пожарной безопасности в России.

Патентов, соотнесенных с классом А62 “Спасательная служба; противопожарные средства” Международной патентной классификации, было 44,3 %. В 31,9 % изобретений патентообладателями были отечественные физические лица, в 8,1 % — иностранные заявители, в 2,3 % — учреждения МЧС России.

В общем массиве изобретения по огнетушащим (огнегасящим) составам составили 44,8 %, огнезащитным и теплозащитным покрытиям и составам для их изготовления — 24,7 %, строительным и конструкционным материалам с пониженной пожарной опасностью — 19,8 %, способам и устройствам снижения пожарной опасности процессов получения веществ — 6,3 %, определению показателей пожарной опасности — 1,9 %, разработке и усовершенствованию способов прекращения горения — 1,2 %, прочие — 1,6 %. Исследования показали, что анализ изобретений позволяет прогнозировать развитие отрасли знания в сфере физико-химических основ развития и прекращения горения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. World Fire Statistics / Center of Fire Statistics of CTIF. — 2016. — Report No. 21. — 60 p. URL: http://ctif.org/sites/default/files/ctif_report21_world_fire_statistics_2016.pdf (дата обращения: 10.01.2017).
2. Евдокимов В. И., Сибирко В. И., Мухина Н. А., Фархатдинов Р. А. Риски гибели и вреда здоровью городского и сельского населения России при пожарах (1996–2015 гг.) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. — 2016. — № 4. — С. 5–20.
3. Скорняков Э. П., Горбунова М. Э. Патентные исследования на основе баз данных, представленных в Интернете. — М. : Патент, 2014. — 160 с.

4. Яковец Ю. В., Кузык Б. Н., Кушлин В. И. Прогноз инновационного развития России на период до 2050 года с учетом мировых тенденций // *Инновации*. — 2005. — № 1(78). — С. 44–53; № 2(79). — С. 19–28.
5. Buskop W. K. B. Instrumentation technology [is it patentable?] // *Proceedings of the 51st Annual ISA Analysis Division Symposium*. — Anaheim, CA, United States, 2006. — Vol. 459. — P. 67–77.
6. Feng L., Liu B., Peng Z. A patent hotspot discovery method // *Wuhan University Journal of Natural Sciences*. — 2016. — Vol. 21, Issue 5. — P. 369–375. DOI: 10.1007/s11859-016-1183-4.
7. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) : Федер. закон от 18.12.2006 № 230-ФЗ (ред. от 06.04.2015 № 82-ФЗ) // *Собр. законодательства Рос. Федерации*. — 2006. — № 52 (ч. 1), ст. 5496.
8. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 23.06.2014) // *Собр. законодательства Рос. Федерации*. — 2008. — № 30 (ч. 1), ст. 3579.
9. Kunin A. V., Smirnov S. A., Lapshin D. N., Semenov A. D., Il'in A. P. Technology development for the production of ABCE fire extinguishing dry powders // *Russian Journal of General Chemistry*. — 2016. — Vol. 86, Issue 2. — P. 450–459. DOI: 10.1134/S1070363216020456.
10. Perlik V. I., Kremena A. P. A new approach to fire and environmental safety problem of space launch vehicles launch complexes based on hydroimpulsive dispersion of fire-extinguishing liquid // *57th International Astronautical Congress, Valencia, Spain*. — 2006. — Vol. 11. — P. 7438–7443. DOI: 10.2514/6.IAC-06-D2.2.08.
11. Bebawy M. Effective fire protection measures for field deployment of FRP strengthened concrete beams : Diss. PhD. — Windsor, Ontario, Canada, 2011. — 258 p. (ProQuest Dissertations Publishing; NR61928).
12. Challener C. Fire safety with specialty coatings (review) // *JCT (Journal of Coatings Technology)*. — 2007. — Vol. 4, Issue 9. — P. 78–84.
13. Hörold A., Schartel B., Trappe V., Korzen M., Bünker J. Fire stability of glass-fibre sandwich panels: The influence of core materials and flame retardants // *Composite Structures*. — 2017. — Vol. 160. — P. 1310–1318. DOI: 10.1016/j.compstruct.2016.11.027.
14. Khobragade P. S., Hansora D. P., Naik J. B., Chatterjee A. Flame retarding performance of elastomeric nanocomposites: A review // *Polymer Degradation and Stability*. — 2016. — Vol. 130. — P. 194–244. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2016.06.001.
15. Krasny J. F., Parker W. J., Babrauskas V. Fire behavior of upholstered furniture and mattresses. — New York : William Andrew Inc., 2001. — 431 p.
16. Weil E. D. Fire-protective and flame-retardant coatings — A state-of-the-art review // *Journal of Fire Sciences*. — 2011. — Vol. 29, Issue 3. — P. 259–296. DOI: 10.1177/0734904110395469.
17. Xi Zhang, Qingliang He, Hongbo Gu, Henry A. Colorado, Suying Wei, Zhanhu Guo. Flame-retardant electrical conductive nanopolymers based on bisphenol F epoxy resin reinforced with nano poly-anilines // *ACS Applied Materials and Interfaces*. — 2013. — Vol. 5, Issue 3. — P. 898–910. DOI: 10.1021/am302563w.
18. Евдокимов В. И., Поташев Д. А. Анализ отечественных патентов на изобретения в сфере пожарной безопасности (2014 г.) // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2015. — Т. 24, № 10. — С. 5–12. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.5-12.
19. Евдокимов В. И., Поташев Д. А., Коробейникова Е. Г. Физико-химические основы развития и прекращения горения : Аннотированный указатель отечественных патентов на изобретения (1994–2015 гг.) / Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А. М. Никифорова МЧС России, С.-Петерб. ун-т Гос. противопожар. службы МЧС России. — СПб. : Политехника сервис, 2016. — 189 с.
20. Международная патентная классификация : 9-я ред. [вступила в силу 01.01.2009]: базовый уровень: в 5 т. — М. : Роспатент, 2009. Т. 5: Руководство к МПК. — 54 с.

Материал поступил в редакцию 19 января 2017 г.

Для цитирования: Евдокимов В. И., Поташев Д. А., Коробейникова Е. Г. Структура изобретений по физико-химическим основам развития и прекращения горения в России (1994–2016 гг.) // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2017. — Т. 26, № 3. — С. 5–11. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.5-11.

STRUCTURE OF THE INVENTIONS IN PHYSICAL AND CHEMICAL BASIS OF COMBUSTION DEVELOPMENT AND TERMINATION IN RUSSIA (1994–2016)

EVDOKIMOV V. I., Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Life Safety, Extreme and Radiation Medicine, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine of Emercom of Russia (Akademika Lebedeva St., 4/2, Saint Petersburg, 194044, Russian Federation; e-mail: 9334616@mail.ru)

POTASHEV D. A., Teacher Methodist of Development Institute, Saint Petersburg University of Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 194044, Russian Federation; e-mail: dim-po@igps.ru)

KOROBENIKOVA E. G., Candidate of Chemistry Sciences, Docent, Professor of Department of Physical and Chemical Principles of Combustion and Fire Suppression, Saint Petersburg University of Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 194044, Russian Federation; e-mail: korhelen2012@gmail.com)

ABSTRACT

Introduction. Russia is the country with the highest risk of fires and severity of their consequences in the world. The development of innovations in fire prevention and liquidation has a great economic importance. The purpose of the research is to analyze the national patents for inventions in physical and chemical basis of combustion development and termination, granted in 1994–2016.

Materials and methods of research. The object of study is an electronic patent database of Patents and Trademarks of Russia (Rospatent). The keywords “fire*” truncated with an asterisk (*) and connected with OR operator were used. The patents were divided into groups applying a routine method. The dynamics of the number of patents granted over the years was obtained through the time series analysis, using a second order polynomial trendline.

Results and analysis. The polynomial trendline of the number of patents granted in 1994–2016 with low determination coefficient ($R^2 = 0.61$) shows their increase. Rospatent registered 3,297 fire safety inventions during the period under review, including 515 inventions in physical and chemical basis of combustion development and termination. They represent 15.6 % of the total number of fire safety inventions. Patents corresponding to class A62 “Rescue service; fire-fighting equipment” of the International Patent Classification, represent 44.3 %. Domestic individuals were patentees of 31.9 % of inventions, foreign applicants — 8.1 %, Emercom of Russia institutions — 2.3 %. There were (22 ± 3) inventions patented annually. The fire extinguishing substances represent 44.8 % of all inventions, flame retardant and heat retardant coatings and compounds for their production — 24.7 %, construction materials with low fire risk — 19.8 %, methods and devices designed to reduce the fire risk of material production process — 6.3 %, determination of fire risk indicators — 1.9 %, development and improvement of methods for combustion termination — 1.2 %, others — 1.6 %.

Conclusion. In 1994–2016, there has been an increase in the number of granted patents for fire safety inventions in physical and chemical basis of combustion development and termination. The inventions analysis allows forecasting further development of physical and chemical basis of combustion development and termination science.

Keywords: fire; fire safety; physical and chemical basis of combustion development; fire extinguishing compound; flame retardant coating; inventions; patents; International Patent Classification, Patents and Trademarks of Russia (Rospatent).

REFERENCES

1. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. *World Fire Statistics. Center of Fire Statistics of CTIF*, 2016, Report No. 21. 60 p. Available at: http://ctif.org/sites/default/files/ctif_report21_world_fire_statistics_2016.pdf (Accessed 10 January 2017).

2. Evdokimov V. I., Sibirko V. I., Mukhina N. A., Farkhatdinov R. A. Risks of fire-related death and injuries in Russian urban and rural population (1996–2015). *Mediko-biologicheskiye i sotsialno-psikhologicheskiye problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh (Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations)*, 2016, no. 4, pp. 5–20 (in Russian).
3. Skorniyakov E. P., Gorbunova M. E. *Patent researches on the basis of the databases presented on the Internet*. Moscow, Patent Publ., 2014. 160 p. (in Russian).
4. Yakovets Yu. V., Kuzyk B. N., Kushlin V. I. The forecast of innovative development of Russia for the period till 2050 taking into account world tendencies. *Innovatsii (Innovations)*, 2005, no. 1(78), pp. 44–53; no. 2(79), pp. 19–28 (in Russian).
5. Buskop W. K. B. Instrumentation technology [is it patentable?]. In: *Proceedings of the 51st Annual ISA Analysis Division Symposium*. Anaheim, CA, United States, 2006, vol. 459, pp. 67–77.
6. Feng L., Liu B., Peng Z. A patent hotspot discovery method. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 2016, vol. 21, no. 5, pp. 369–375. DOI: 10.1007/s11859-016-1183-4.
7. Civil code of the Russian Federation (part fourth). Federal Law on 18.12.2006 No. 230 (ed. 06.04.2015). *Sobraniye zakonodatelstva RF (Collection of Laws of Russian Federation)*, 2006, no. 52 (part 1), art. 5496 (in Russian).
8. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 23.06.2014). *Sobraniye zakonodatelstva RF (Collection of Laws of the Russian Federation)*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
9. Kunin A. V., Smirnov S. A., Lapshin D. N., Semenov A. D., Il'in A. P. Technology development for the production of ABCE fire extinguishing dry powders. *Russian Journal of General Chemistry*, 2016, vol. 86, issue 2, pp. 450–459. DOI: 10.1134/S1070363216020456.
10. Perlik V. I., Kremena A. P. A new approach to fire and environmental safety problem of space launch vehicles launch complexes based on hydroimpulsive dispersion of fire-extinguishing liquid. *57th International Astronautical Congress*, Valencia, Spain, 2006, vol. 11, pp. 7438–7443. DOI: 10.2514/6.IAC-06-D2.2.08.
11. Bebawy M. *Effective fire protection measures for field deployment of FRP strengthened concrete beams*. Diss. PhD. Windsor, Ontario, Canada, 2011. 258 p. (ProQuest Dissertations Publishing; NR61928).
12. Challenger C. Fire safety with specialty coatings (review). *JCT (Journal of Coatings Technology)*, 2007, vol. 4, issue 9, pp. 78–84.
13. Hörold A., Schartel B., Trappe V., Korzen M., Bünker J. Fire stability of glass-fibre sandwich panels: The influence of core materials and flame retardants. *Composite Structures*, 2017, vol. 160, pp. 1310–1318. DOI: 10.1016/j.compstruct.2016.11.027.
14. Khobragade P. S., Hansora D. P., Naik J. B., Chatterjee A. Flame retarding performance of elastomeric nanocomposites: A review. *Polymer Degradation and Stability*, 2016, vol. 130, pp. 194–244. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2016.06.001.
15. Krasny J. F., Parker W. J., Babrauskas V. *Fire behavior of upholstered furniture and mattresses*. New York, William Andrew Inc., 2001. 431 p.
16. Weil E. D. Fire-protective and flame-retardant coatings — A state-of-the-art review. *Journal of Fire Sciences*, 2011, vol. 29, issue 3, pp. 259–296. DOI: 10.1177/0734904110395469.
17. Xi Zhang, Qingliang He, Hongbo Gu, Henry A. Colorado, Suying Wei, Zhanhu Guo. Flame-retardant electrical conductive nanopolymers based on bisphenol F epoxy resin reinforced with nano polyanilines. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 2013, vol. 5, issue 3, pp. 898–910. DOI: 10.1021/am302563w.
18. Evdokimov V. I., Potashev D. A. Analysis of domestic patents for inventions in the sphere of fire safety (2014). *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 10, pp. 5–12 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.5-12.
19. Evdokimov V. I., Potashev D. A., Korobeinikova E. G. *Physical and chemical basis of combustion development and termination: annotated listing of domestic patents for inventions (1994–2015)*. Saint Petersburg, Politehnika Servis Publ., 2016. 189 p. (in Russian).
20. *The International Patent Classification (IPC)*. 9th edition. Moscow, Rospatent Publ., 2009. Vol. 5: Guide to the IPC. 54 p. (in Russian).

For citation: Evdokimov V. I., Potashev D. A., Korobeinikova E. G. Structure of the inventions in physical and chemical basis of combustion development and termination in Russia (1994–2016). *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 5–11. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.5-11.

Т. Ю. ЕРЕМИНА, д-р техн. наук, профессор, старший научный сотрудник, Научно-образовательный комплекс организационно-управленческих проблем ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: main@stopfire.ru)

И. В. ТРЕГУБОВА, начальник проектно-экспертного отдела, ООО "Международный научный инновационный центр строительства и пожарной безопасности" (Россия, 199155, г. Санкт-Петербург, ул. Уральская, 13)

Н. В. ТИХОНОВА, ведущий инженер IT-отдела, ООО "Международный научный инновационный центр строительства и пожарной безопасности" (Россия, 199155, г. Санкт-Петербург, ул. Уральская, 13; e-mail: risk@stopfire.ru)

УДК 614.842;725.8

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ: РОССИЙСКИЕ И МЕЖДУНАРОДНЫЕ НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Проанализированы проблемы обеспечения пожарной безопасности современных спортивных сооружений с учетом статистики пожаров на стадионах за последние годы. Рассмотрены возможные варианты использования спортивных сооружений, стадийность их эксплуатации. Проведен сравнительный анализ российских и международных нормативных документов. Обсуждаются вопросы актуализации нормативно-технической документации в области пожарной безопасности. Предложены инновационные решения в работе по обеспечению комплексной безопасности. Выделены основные направления дальнейшей работы по обеспечению комплексной безопасности стадионов и других спортивных объектов.

Ключевые слова: спортивные сооружения; объекты с массовым пребыванием людей; многофункциональное использование; комплексная безопасность; инновационные решения; гармонизация нормативно-технической документации; оценка пожарного риска.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.12-22

Современное спортивное сооружение — это многофункциональный комплекс, основными особенностями которого являются разнообразие форм зданий, индивидуальные архитектурные и конструктивные решения, универсальность с точки зрения использования для многих видов спорта и других мероприятий (трансформация), большой внутренний объем (без ограждающих конструкций) самой арены, пребывание одновременно большого количества людей, наличие современных вспомогательных и технических помещений (рис. 1). Предусматриваемые средства трансформации арен позволяют использовать часть зала в виде сектора в качестве театрального зала со сценой, оборудованной необходимыми устройствами для концертов и спектаклей. Окружающие залы галереи могут служить помещениями для организации выставок.

При проведении различных мероприятий в спортивном сооружении необходимо обеспечение комплексной безопасности, которая включает защиту от всех возможных угроз не только зрителей, участников мероприятий и персонала, но и собственно ста-

диона — его конструкции, сложнейшего современного инженерного оборудования.

Проектирование и строительство современных спортивных сооружений в настоящее время не может обойтись без применения инновационных технологий и продукции [1–6].

В действующих нормативных документах недостаточно полно отражены специфические требования пожарной безопасности, предъявляемые к спортивному сооружению при проектировании, строительстве, эксплуатации, капитальном ремонте и реконструкции.

В общем случае при проектировании спортивных сооружений в Российской Федерации в части обеспечения пожарной безопасности (в том числе безопасной эвакуации) руководствуются нормативными требованиями следующих документов:

- Федерального закона от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ "О пожарной безопасности";
- Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожар-

© Еремина Т. Ю., Трегубова И. В., Тихонова Н. В., 2017



Рис. 1. Спортивные комплексы в Катаре (вверху) и Германии (внизу)

ной безопасности” (в ред. приказа от 10.07.2012 г. № 117-ФЗ);

- приказа МЧС РФ от 30.06.2009 г. № 382 “Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности”;
- постановления Правительства РФ от 31.03.2009 г. № 272 “О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска”;
- нормативных документов добровольного применения (своды правил).

Пожарная безопасность спортивных сооружений *в особых случаях* (строительство спортивных сооружений, стадионов к крупным международным турнирам) может регламентироваться требованиями безопасности Международной федерации футбола FIFA (Fédération Internationale de Football Association) и рядом международных стандартов:

- Guide to Safety at Sports Grounds, UK, 2008 (Руководство по безопасности спорткомплексов);
- FIFA Stadium Safety and Security Regulations, Switzerland (Нормы безопасности стадионов FIFA);
- Safety of Sports Grounds Act, UK, 1975 (Безопасность спорткомплексов);
- Fire Safety and Safety of Places of Sport Act, UK, 1987 (Пожарная безопасность и безопасность спортивных мероприятий);
- The Fire Safety (Scotland) Regulations, UK, 2006 (Нормы пожарной безопасности (Шотландия));

- Practical Fire Safety Guidance for Places of Entertainment and Assembly, UK (Практическое руководство по пожарной безопасности зрелищных мероприятий с массовым пребыванием людей);
- Safety at Sports and Recreational Events Act, The Republic of South Africa, 2010 (Безопасность спортивных и зрелищных мероприятий);
- NFPA Codes and Standards (Нормы и стандарты Национальной ассоциации пожарной безопасности):
 - NFPA 1, Fire Code (Нормы пожарной безопасности);
 - NFPA 101, Life Safety Code (Нормы безопасности жизнедеятельности);
 - NFPA 704, Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response (Стандартная система определения рисков, связанных с рядом опасных материалов, для персонала аварийных спецслужб).

В настоящее время в рамках подготовки к чемпионату мира по футболу 2018 г. разработан проект приказа МВД РФ об утверждении “Требований к отдельным объектам инфраструктуры мест проведения официальных спортивных соревнований и техническому оснащению стадионов для обеспечения общественного порядка и общественной безопасности” и дополнение к нему “Требования по антитеррористической защищенности объектов, предназначенных для проведения спортивных соревнований чемпионата мира по футболу FIFA 2018 года и Кубка конфедераций FIFA 2017 года”. В новых документах МВД учтен успешный практический опыт обеспечения безопасности и XXVII летней Универсиады в Казани 2013 г., и, конечно, XXII зимних Олимпийских игр в Сочи 2014 г.

Главная арена зимних Олимпийских игр 2014 г. — стадион “Фишт” вместимостью 40 тыс. чел. (рис. 2). Это уникальное спортивное сооружение, воплощение инноваций в современной архитектуре, отвечающее всем требованиям безопасности. Помимо

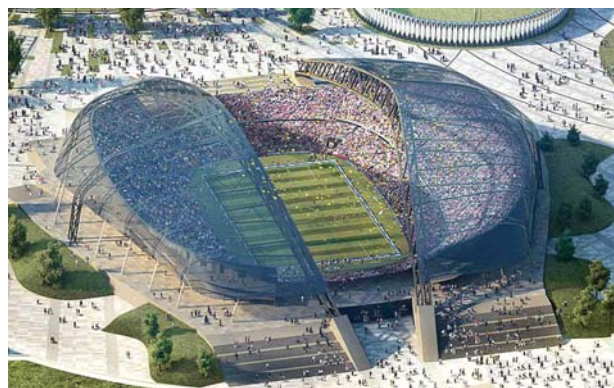


Рис. 2. Стадион “Фишт” — главная арена зимних Олимпийских игр в Сочи

всего прочего, здесь созданы комфортные условия для маломобильных групп населения.

Проектирование и возведение современных сооружений к зимним Олимпийским играм 2014 г. дали дополнительный толчок к комплексной проработке и детальному анализу безопасности (в том числе пожарной) спортивных сооружений на всех стадиях проектирования, строительства и последующей эксплуатации.

В работе Е. А. Мешалкина [7] подчеркивается такая особенность спортивных сооружений, как стабильность эксплуатации. В качестве примеров приведены главный медиацентр сочинской Олимпиады, после проведения которой предусмотрено использовать его в качестве торгово-развлекательного комплекса, а также современные футбольные стадионы,

в том числе входящие в программу проведения чемпионата мира по футболу в 2018 г. Эти проекты предполагают использование данных сооружений для концертных, театрализованных представлений (в том числе устройство зрительских мест и сцены на месте футбольного поля). Подчеркивается также целесообразность разработки для таких объектов СТУ с применением различных расчетных обоснований систем противопожарной защиты.

Необходимо также отметить, что спортивные сооружения характеризуются не только пребыванием в них одновременно большого количества людей, но и особенностями их поведения [8–10]. Приведенная в табл. 1 статистика пожаров на стадионах за последние годы свидетельствует о том, что события на поле незамедлительно провоцируют траге-

Таблица 1. Статистика пожаров на стадионах мира

Дата	Происшествие
11 мая 1985 г.	Пожар на стадионе в Брэдфорде в Англии. Сгорела деревянная трибуна. Погибли 52 чел., 200 чел. получили тяжелые ожоги
6 апреля 2009 г.	На стадионе “Металлист” в Харькове фанаты-болельщики зажгли газеты и бумагу, что стало причиной возгорания зрительских кресел
7 октября 2011 г.	Пожар на стадионе в Греции был вызван брошенным хорватскими болельщиками зажигательным устройством во время квалификационного матча группы Евро–2012
1 февраля 2012 г.	Погром на футбольном стадионе в Порт-Саиде. Сразу после окончания матча на 40-тысячном стадионе началась массовая драка, были подожжены трибуны. В результате погибли 77 чел. и около 1000 чел. получили ранения
11 ноября 2012 г.	Болельщики “Зенита” устроили пожар на трибуне стадиона в Нижнем Новгороде после матча с “Волгой”
6 мая 2013 г.	Пожар на центральном городском стадионе в г. Николаеве возник на кровле легкоатлетического манежа. Пламя очень быстро распространялось снизу вверх. Помещение манежа оказалось сильно задымлено. Помещение было обесточено, люди эвакуированы. На локализацию пожара ушло 20–30 мин
3 ноября 2013 г.	Фанаты футбольного клуба устроили погром на стадионе им. Бутовского в Полтаве, а затем оторвали пластиковые сиденья, сложили на трибуне и подожгли
27 мая 2014 г.	На ледовом стадионе “Донбасса” произошел пожар, площадь возгорания — около 300 м ² . В основном пострадала внутренняя отделка. Жертв и пострадавших нет
29 сентября 2014 г.	Во время матча чемпионата России “Рубин” – “Торпедо” поклонники казанского клуба подожгли несколько кресел на стадионе “Казань Арена”. В перерыве встречи пожарные ликвидировали возгорание
30 сентября 2014 г.	Самарские болельщики на матче “Газовик” – “Крылья Советов” во втором тайме зажгли файеры, в результате чего загорелась трибуна стадиона. Сотрудники полиции за пару минут огнетушителем загасили пламя и не дали распространиться огню
16 мая 2015 г.	В США на бейсбольном стадионе во время матча чемпионата Главной лиги бейсбола случился пожар. Зрители матча, которые находились рядом с местом, где вспыхнул огонь, были эвакуированы
17 мая 2015 г.	Фанаты российских “ЦСКА” и “Спартак” устроили драку и пожар на трибуне (подожгли флаги команд)
29 июня 2015 г.	В американском городе Юджин (штат Орегон) практически дотла сгорел исторический стадион “Civic”, построенный в 1938 г. Часть трибун выгорела дотла. Местная полиция объявила о необходимости эвакуации всех жителей окрестных кварталов
1 августа 2015 г.	Фанаты “Зенита” устроили пожар на стадионе “Петровский” во время матча с “Тереком”. Пожар возник в результате зажигания файеров. Вскоре густой дым окутал трибуны, огонь охватил кресла

дии на трибунах. Иногда беспорядки вспыхивают и непосредственно среди болельщиков, независимо от поведения игроков или судей, что нередко становится причиной пожаров.

Факты, приведенные в табл. 1, говорят о том, что особое внимание должно уделяться безопасности людей на трибунах, для обеспечения которой необходим тщательный подход к выбору конструктивных решений трибун с учетом особенностей эвакуационных путей и выходов спортивных сооружений [11–16].

К сожалению, разработка специальных технических условий (СТУ) в части обеспечения пожарной безопасности для спортивных сооружений в России проводится без анализа зарубежного опыта, как положительных, так и отрицательных его сторон. Например, после летних Олимпийских игр 2012 г. в Лондоне в течение года различными специалистами проводился анализ опыта проектирования, строительства и эксплуатации объектов Олимпиады. Результаты открыто обсуждались в рамках конференций, деловых встреч, круглых столов и были доступны для широкого круга специалистов.

Анализ некоторых основных требований в области пожарной безопасности российских нормативных документов (НД) и требований FIFA представлен в табл. 2 (на примере крытого спортивного сооружения России).

Проанализировав данные табл. 2, можно сделать очевидный вывод об ужесточении нормативных требований Российской Федерации по сравнению с международными нормами.

Международные нормы и их совершенствование (на примере “Guide to Safety at Sports Grounds” [17])

Руководство [17] издается с 1973 г. под патронажем Правительства Великобритании. В данном руководстве содержатся подробные указания, в том числе для технических специалистов (архитекторов, конструкторов и иных специалистов), по оценке безопасности размещения зрителей в пределах спортивной площадки.

Данное руководство носит рекомендательный характер, однако некоторые пункты его включены в общие сертификаты безопасности, выданные для сохранности спортивных площадок (1975 г.), и сертификаты пожарной безопасности (“Закон о спорте” 1987 г.)

Первое издание [17] было выпущено спустя 2 года после катастрофы на стадионе “Айброкс” в Глазго в 1971 г., при которой погибли 66 чел. Трагедия произошла в результате давки, случившейся на одном из выходов после поединка с “Селтиком”.

Второе издание [17] было опубликовано в 1986 г. после трагедии на стадионе в Брэдфорде, унесшей жизни 56 болельщиков (более 260 зрителей попали в больницы с серьезнейшими ожогами). Предположительно, причиной пожара послужил непотушенный окурок, брошенный кем-то из зрителей на деревянную трибуну стадиона. Пожар в Брэдфорде и другие трагедии на стадионах поставили вопрос о состоянии многих европейских стадионов и необходимости их реконструкции.

В руководство [17] были внесены тщательно проработанные рекомендации, содержащие основные требования безопасности (в том числе пожарной) на стадии проектирования футбольных стадионов и других спортивных сооружений.

После 1986 г. руководство [17] дополнялось и переиздавалось еще три раза (в 1990, 1997 и 2008 гг.).

В настоящее время материалы [17] соответствуют требованиям Союза европейских футбольных ассоциаций UEFA (Union of European Football Associations) и Регламента FIFA, который определяет требования к инфраструктуре стадиона и условия безопасности футбольных соревнований.

В табл. 3 дан сравнительный анализ требований пожарной безопасности в российских НД и руководстве [17].

В настоящее время в России отсутствует единый нормативный документ, аналогичный [17], описывающий весь комплекс рекомендаций и требований к обеспечению безопасности спортивного сооружения на этапах проектирования, строительства и эксплуатации.

Известно, что одной из важнейших задач при проведении массовых мероприятий является *оперативная эвакуация зрителей* со стадиона.

В докладе генерального директора общероссийской физкультурно-спортивной общественной организации “Российская ассоциация спортивных сооружений” (РАСС) Виктора Мяконькова “Концепция обеспечения комплексной безопасности спортивного объекта с элементами временной инфраструктуры” [18] рассмотрена общая структура безопасности спортивного объекта и средства ее обеспечения с учетом возможных угроз. В частности, в докладе был проведен анализ российских и международных нормативных требований, предъявляемых к путям эвакуации.

Основные требования по эвакуации зрителей из спортивных сооружения сформулированы в следующих российских нормативных документах:

- СП 1.13130.2009 “Эвакуационные пути и выходы”;
- СП 118.13330.2012 “Общественные здания и сооружения”.

Таблица 2. Сравнение требований в области пожарной безопасности в российских и зарубежных документах

Параметр	Требования	
	российских НД	FIFA
<i>Огнестойкость конструкций</i>		
Несущие элементы здания, внутренних стен лестничных клеток	R 120	Минимальный предел огнестойкости — 30 мин (если это не оговаривается иначе в национальных регламентах пожарной безопасности)
Наружные ненесущие стены	R 30	
Перекрытия	R 60	
Материалы арен, трибун	НГ	Следует избегать конструкций из горючих материалов (но если горючие материалы присутствуют, учитывать это при расчете эвакуации)
<i>Эвакуация</i>		
Ширина эвакуационных выходов в свету	Определяется расчетом, но не менее 1,5 м при эвакуации с трибун, не менее 1,35 м — при эвакуации из прочих общественных зон	Эвакуационные выходы должны иметь одну дверь шириной не менее 2 м, отличаться по цвету от окружающей отделки и быть легко-различимыми
Возможные препятствия на путях эвакуации	На путях эвакуации исключить подъемно-опускные двери/ворота, вращающиеся турникеты	Все аварийные выходы с автоматическими замками должны иметь дублирующее ручное управление для возможности открытия их вручную в случае аварии. Предел огнестойкости дверей — не менее 30 мин
Пожарная опасность строительных материалов на путях эвакуации	НГ	Класс 0* при классификации по группам возгораемости
<i>Системы противопожарной защиты</i>		
Автоматическая установка пожаротушения (АУПТ)	Оборудованию АУПТ подлежат все помещения (вид огнетушащего средства по выбору проектной организации)	Необходимо установить систему автоматической пожарной сигнализации во всех зонах высокого риска, а также в свободных зонах с нормальным риском. Особое внимание должно быть уделено техническим помещениям (с большой пожарной нагрузкой) и подземным автостоянкам
Система противодымной защиты (СПЗ)	Оборудованию СПЗ подлежат эвакуационные коридоры, помещения без естественного освещения (площадью более 50 м ²). Наличие систем подпора воздуха в шахтах лифтов, тамбур-шлюзов; лестницы типа Н2	—
Автоматическая пожарная сигнализация	Адресно-аналогового типа с выводом сигнала на пульт связи ГПС	В составе системы сигнализации и мониторинга стадиона
Система оповещения и управления эвакуацией	4-го типа	Все здания, к которым имеют доступ посетители или персонал и в которых возможно возникновение пожара, должны быть оборудованы системой оповещения с ручным управлением для предупреждения персонала
Организационно-технические мероприятия	Наличие согласованных плана пожаротушения, планов эвакуации, инструкций для сотрудников о мерах пожарной безопасности, наружного освещения объекта в темное время суток, специальной разметки для проезда пожарной техники	Персонал стадиона, ответственный за безопасность, должен планировать, организовывать, проверять выполнение необходимых мер по предотвращению пожара и обеспечению пожарной безопасности, что должно быть зафиксировано письменно

* Guide to Safety at Sports Grounds, UK, 2008; Fire Safety and Safety of Places of Sport Act, UK, 1987.

Таблица 3. Сравнительный анализ требований пожарной безопасности, установленных российскими нормативными документами и “Guide to Safety at Sports Grounds” [17]

Российские нормативные документы	Guide to Safety at Sports Grounds [17]
СП 1.13130.2009 “Эвакуационные пути и выходы”	Ширина путей эвакуации, равная 1 м, обеспечивает пропускную способность: 60–100 чел. (вниз) или 100–170 чел. (вверх) в 1 мин (в зависимости от класса пожарной опасности здания, объема помещения, вида эвакуационных выходов). Максимальное расстояние от наиболее удаленного зрительского места до эвакуационного выхода — от 20 до 55 м Время эвакуации из здания в целом принимается в зависимости от класса пожарной опасности здания, объема помещения — минимум 6–10 мин Ширина путей эвакуации должна быть не менее, м: 1,0 — горизонтальных проходов, пандусов и лестниц на трибунах; 1,35 — эвакуационных люков трибун. Глубина проступи — не менее 0,25 м. Высота ступени — не более 0,22 м В крытых спортивных сооружениях число зрителей, эвакуирующихся через каждый выход (люк, дверь) из зального помещения объемом более 60 тыс. м³, должно быть не более 600 чел.
СП 2.13130.2012 “Обеспечение огнестойкости объектов защиты”	73 зрителя на 1 м ширины выхода в минуту на всех лестницах и путях эвакуации для зон с сидячими местами, 109 зрителей — для всех остальных зон. Максимальное расстояние до выхода для сидящих зрителей — 30 м от их мест до ближайшего выхода в зоне видимости, для стоящих зрителей — 12 м от местонахождения до прохода между рядами или выхода наружу. Для зон сидящих и стоящих зрителей с более высоким риском время эвакуации всех зрителей в безопасную зону не должно превышать 2,5 мин Время эвакуации из здания в целом не должно превышать 6–8 мин Ширина эвакуационных проходов — не менее 1,2 м. Высота ступени — не менее 0,15 м; глубина ступени — 0,28 м Не регламентирует
	Не регламентирует пределы огнестойкости конструкций. Однако при повышенном риске распространения пламени рекомендовано деление на пожарные отсеки и выделение помещений с высокой пожарной нагрузкой конструкциями с пределом огнестойкости не менее 30 мин. Рекомендовано повышение предела огнестойкости конструкций в некоторых случаях для обеспечения разумной защиты от пожара. Если это невозможно, должны рассматриваться альтернативные компенсационные меры: — обширная ранняя система оповещения людей о пожаре; — улучшение условий эвакуации (уменьшение расстояния до выхода); — установка системы пожаротушения Рекомендуется выполнять из негорючих материалов

Российские нормативные документы		Guide to Safety at Sports [17] Ground
СП 5.13130.2009 “Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические”	Автоматическая пожарная сигнализация: аспирационные дымовые извещатели классов А, В рекомендуются для защиты больших открытых пространств и помещений высотой более 8 м в спортивных залах и на стадионах	Регламентирует наличие системы сигнализации особой для каждого конкретного случая, но обязательно с мониторингом на общем пульте
	Оборудование АУПТ помещений: – под трибунами любой вместимости в крытых спортивных сооружениях; – в зданиях крытых спортивных сооружений вместимостью 800 и более зрителей; – под трибунами вместимостью 3000 и более зрителей в открытых спортивных сооружениях	Автоматические системы пожаротушения в помещениях с повышенной пожарной нагрузкой (технические помещения и пр.) с выводом сигнала на общий пульт

В частности, данные нормативные документы устанавливают следующие требования по эвакуации с трибун:

- для *открытых* спортивных сооружений — расчетное число людей на 1 м ширины путей эвакуации — в табл. 4;
- для *крытых* спортивных сооружений — расчетное число зрителей, проходящих через каждый выход из зального помещения, — не более 600 чел.

Время эвакуации из спортивных залов с трибунами для зрителей принимается в зависимости от класса пожарной опасности здания, объема и высоты помещения и может варьироваться **от 2 до 10 мин.**

Рядом с эвакуационными выходами необходимо предусмотреть площадки для рассредоточения эвакуируемых из зданий людей при пожаре.

Британский стандарт BS EN 13200-1:2012 “Spectator facilities. General characteristics for spectator viewing area” (Сооружения для зрителей. Основные характеристики зоны обзора) устанавливает следующие требования к пропускной способности путей эвакуации шириной 1 м:

- на ступенчатой поверхности — 66 чел. в минуту;
- на ровной поверхности — 82 чел. в минуту.

Анализируя нормируемые показатели, можно отметить разницу в подходах к требованиям по путям эвакуации в российских и зарубежных НД.

Таблица 4. Расчетное число людей на 1 м путей эвакуации в открытых спортивных сооружениях

Степень огнестойкости сооружений	Число людей на 1 м ширины при эвакуации			
	по лестницам проходов трибуны		через люк из проходов трибуны	
	вниз	вверх	вниз	вверх
I, II	600	825	620	1230
III, IV	420	580	435	860
V	300	415	310	615

В документе FIFA “Stadium Safety and Security Regulations” (Меры защиты и обеспечения безопасности на стадионе) указано, что руководство по эксплуатации стадиона (руководство, регламентирующее ежедневную работу стадиона) должно включать следующие разделы (но не ограничиваться ими): инструкции для ресторанной службы, медицинской помощи, график технического обслуживания, *оценку пожарного риска*, режим работы в дни проведения мероприятий, план действий в чрезвычайных обстоятельствах, расчет производительности, генеральный план и спецификацию оборудования обеспечения безопасности.

Данный документ предлагает проводить оценку пожарного риска по следующей схеме:

- а) определить риски, которым могут подвергаться зрители, VIP, игроки, персонал и любые другие люди, которые могут оказаться на стадионе;
- б) определить, кто может быть подвержен рискам и насколько сильно;
- с) оценить риски и разработать профилактические мероприятия;
- д) задокументировать полученные результаты и разработать мероприятия для снижения риска;
- е) постоянно пересматривать перечень этих мероприятий и при необходимости обновлять.

При проведении оценки риска должны быть учтены следующие факторы:

- а) напряженность обстановки на местном, национальном уровне, в среде болельщиков команд;
- б) террористические угрозы (информация предоставляется местными органами власти);
- с) история отношений команд и их болельщиков;
- д) вероятность появления болельщиков без билетов или наличия поддельных билетов;
- е) необходимость разделения зрителей, число групп разделения;

ф) информация о болельщиках, когда-либо использовавших пиротехнику и прочие опасные предметы, включая лазерные указки;

г) вероятность расистских или агрессивных выкриков, поведения, баннеров;

h) генеральный план стадиона с размерами, с учетом спонсоров и арендаторов;

i) ожидаемый объем посещения;

j) осведомленность зрителей о структуре стадиона;

к) ожидаемое поведение зрителей, включая вероятность появления болельщиков на поле, жестокого поведения или наличия стоящих болельщиков в зоне расположения кресел;

l) ожидаемая интенсивность потока прохождения контрольных пунктов на входе, включая необходимость досмотра;

m) дополнительные мероприятия, такие как церемонии открытия, закрытия, награждения;

n) представительские мероприятия;

о) время и продолжительность матчей.

Каждый этап оценки должен быть задокументирован.

В работе [19] проанализированы преимущества вероятностного подхода к оценке пожарного риска на основе международных нормативных документов — PD 7974-7 “Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7: Probabilistic risk assessment” (Применение принципов пожарнотехнического анализа при проектировании зданий. Часть 7: Вероятностная оценка пожарного риска) и BS 7974 “Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — Code of practice” (Применение принципов пожарнотехнического анализа при проектировании зданий. Свод правил). Предложенная методология проиллюстрирована на примере многофункционального крытого стадиона с системой дымоудаления над ареной и трибунами. Это здание используется главным образом для спортивных мероприятий, но если убрать нижние ряды, то в нем могут проводиться, например, концерты, религиозные и светские мероприятия, съезды, торговые ярмарки, экстремальные автошоу. Пожарный риск оценивается и для других зон сооружения, например зоны киосков розничной торговли или складов с хранением горючих материалов.

Международными организациями CFPA (Confederation of Fire Protection Association), NFPA (National Fire Protection Association), BSI (British Standard Institute), CTIF (International Association of Fire and Rescue Service) разработаны стандарты и документы, регламентирующие обеспечение пожарной безопасности для объектов исторического и культурного наследия. Среди них можно отметить:

- CFPA-E-30-2013 “Managing Fire Protection in Historic Buildings” (Пожарная безопасность исторических зданий);
- 2015 NFPA 914 “Code for Fire Protection of Historic Structures” (Свод правил пожарной безопасности в исторических зданиях);
- 2013 NFPA 909 “Code for the Protection of Cultural Resource Properties — Museums, Libraries, and Places of Worship” (Свод правил защиты объектов культурного наследия — Музеи, библиотеки, культовые здания).

Эти документы предлагают необходимые к проверке перечни, так называемые чек-листы (check-lists). В основном они включают описание деления здания на пожарные отсеки, средства предотвращения распространения дыма и огня в здании в случае пожара, проверку выполнения условия безопасной эвакуации, проверку систем пожаротушения на объекте.

Таким образом, вероятностный подход может быть успешно использован при проведении оценки пожарного риска для спортивных сооружений: основные факторы сценариев (структура объекта, системы обеспечения пожарной безопасности, расположение и тип горючей нагрузки, тип пожара, состояние проемов и т. п.) могут быть включены в чек-листы и использованы для анализа пожарной опасности объекта.

В дальнейшей работе по обеспечению комплексной безопасности стадионов и других спортивных объектов можно выделить следующие основные направления:

- формирование нормативного документа, актуального, излагающего требования к применению современных технологий, позволяющего снизить риск возникновения неблагоприятных ситуаций еще на этапах проектирования и строительства спортивного сооружения;
- обеспечение внешнего периметра безопасности — планирование внешней инфраструктуры объекта с максимально возможным свободным пространством;
- совершенствование методики расчета индивидуального пожарного риска с возможностью применения вероятностного подхода и использования чек-листов, разработанных на основе оценки риска для аналогичных объектов.

Строительство спортивного сооружения — уникальный процесс, требующий индивидуального подхода, изучения мирового опыта, проработки и моделирования всевозможных чрезвычайных ситуаций, разработки концепции безопасности с учетом массового пребывания людей, возможности применения передовых инновационных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мохов А. И., Аристова Л. В.* Комплексная безопасность спортивных сооружений // *Строй-ПРОФИЛЬ*. — 2009. — № 2/1. — С. 33–34.
2. Миссия выполнима. Безопасность олимпийских объектов. Сочи–2014. URL: http://www.asteros.ru/docs/olympic_construction.pdf (дата обращения: 06.01.2017).
3. *Крыль С., Маликов Е., Христофоров А.* Безопасность стадионов и спортивно-культурных объектов : круглый стол // *Безопасность. Достоверность. Информация (БДИ)*. — 2014, 30 мая. — № 3. URL: http://www.smt-vc.ru/press_cent/articles/bezopasnost-stadionov-i-sportivno-kulturnykh-obektov-bdi-3-2014 (дата обращения: 06.01.2017).
4. *Сартори А., Нинхофф Х.* Как построить хороший стадион : руководство пользователя. URL: https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2014/04/S_TS_Stadiums_4r_new.pdf (дата обращения: 06.01.2017).
5. *Stephen Logan.* A performance-based approach to allow design flexibility and improve stadia fire safety : interview. URL: <http://www.aurecongroup.com/en/thinking/archive/stadia-fire-safety.aspx> (дата обращения: 06.01.2017).
6. *Горбань Ю., Никончук М.* Особенности выбора систем пожаротушения в различных зонах современного крупного стадиона // *Алгоритм безопасности*. — 2015. — № 1. — С. 28–31.
7. *Мешалкин Е. А.* Особенности применения требований технических регламентов, сводов правил и СТУ при проектировании систем противодымной вентиляции // *АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. — 2015. — № 3. — С. 34–39.
8. *Robert S. Shiels.* The Fatalities at the Ibrox Disaster of 1902 // *The Sports Historian*. — 1998. — Vol. 18, No. 2. — P. 148–155. DOI: 10.1080/17460269809445801.
9. *Лысенко О.* На игре как на войне // *Чемпионат. Футбол*. — 2 февраля 2012 г. URL: <http://www.championat.com/football/article-111551-na-igre-kak-na-vojne.html> (дата обращения: 06.01.2017).
10. *Брединский А.* Футбольный “хулиганизм”: эволюция, основные тенденции и особенности обеспечения безопасности футбольных матчей // *Алгоритм безопасности*. — 2015. — № 1. — С. 14–16.
11. *Иванов Н., Стецкий В.* Технические средства охраны на страже спортивных сооружений // *Алгоритм безопасности*. — 2015. — № 1. — С. 6–8.
12. *Зайков М.* Требования безопасности к проведению международных спортивных соревнований. ЧМ-2018 — кто определяет правила? // *Алгоритм безопасности*. — 2015. — № 1. — С. 10–12.
13. *Филиппов А.* Требования пожарной безопасности, предъявляемые к закрытым спортивным сооружениям // *Алгоритм безопасности*. — 2015. — № 1. — С. 23–25.
14. *Зайцев А. В.* Оповещение и эвакуация людей на спортивных сооружениях при пожаре // *Алгоритм безопасности*. — 2015. — № 1. — С. 34–36.
15. *Ali I. M., Hashim A. E., Wan-Ismail W. Z., Isnin Z., Mohd-Nazeri M. A.* Spectators safety awareness in outdoor stadium facilities // *Procedia Engineering*. — 2011. — Vol. 20. — P. 98–104. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.143.
16. *Stacey A. Hall.* Sport event safety and security: the importance of training your people // *Security Magazine*. — June 2010. URL: <http://www.securitymagazine.com/articles/80915-sport-event-safety-and-security-the-importance-of-training-your-people-1> (дата обращения: 06.01.2017).
17. *Guide to Safety at Sports Grounds* [Руководство по обеспечению безопасности на спортивных площадках]. — 5 edition. — London : The Stationery Office, 2008. — 228 p. URL: <http://www.flaweb.org.uk/sites/default/files/publications/green-guide.pdf> ((дата обращения: 06.01.2017).
18. *Myakon'kov V., Shelyakova J.* On methodological approach to justify system to ensure integrated safety and security at sports venues. URL: <http://www.teoriya.ru/ru/node/3564> (дата обращения: 06.01.2017).
19. *Гилетич А. Н., Еремина Т. Ю., Тихонова Н. В.* Применение международных стандартов BS 7974 и ISO/TS 16733 при оценке пожарного риска // *Пожарная безопасность*. — 2013. — № 2. — С. 113–124.

Материал поступил в редакцию 16 января 2017 г.

Для цитирования: *Еремина Т. Ю., Трегубова И. В., Тихонова Н. В.* Пожарная безопасность спортивных сооружений: российские и международные нормы проектирования, инновационные решения в области пожарной безопасности // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2017. — Т. 26, № 3. — С. 12–22. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.12-22.

SPORTS FACILITY FIRE SAFETY: RUSSIAN AND INTERNATIONAL DESIGN STANDARDS, FIRE SAFETY INNOVATIVE SOLUTIONS

EREMINA T. Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Management Issues Academic Organization, State Fire Academy
of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366,
Russian Federation; e-mail: main@stopfire.ru)

TREGUBOVA I. V., Head of Project and Expert Department,
International Scientific Innovative Center of Construction
and Fire Safety, Ltd (Uralskaya St., 13, Saint Petersburg, 199155,
Russian Federation)

TIKHONOVA N. V., Leading Engineer of IT Department,
International Scientific Innovative Center of Construction
and Fire Safety, Ltd (Uralskaya St., 13, Saint Petersburg, 199155,
Russian Federation; e-mail: risk@stopfire.ru)

ABSTRACT

This work analyzes integrated security and safety problems for modern sports facilities as large places of assembly and multi-use objects. Different events (mostly sports, but modern stadium construction allows to transform them for concerts, performances, etc.) require people protection from possible danger. Also it's necessary to remember that sports facilities are characterized by not only large assembly of people, but their behavior specialties as well. Statistics of fires at stadiums for recent years show tragedies in the grandstands, caused by events at playing field. All these specialties require complex development and detailed analysis of security and safety (including fire safety) for sports facilities at all stages of design, building and use.

Comparative analysis of Russian and international rules and regulations in the field of fire safety for modern sports facilities is made in this work. Special attention is paid to documents prepared for World Championship 2018. Successful practical experience of safety and security arrangements for the XXVII Universiade in Kazan in 2013 and the XXII Winter Olympic Games in Sochi in 2014 is regarded.

This analysis shows that modern Russian rules and regulations don't take into account fire safety requirements to the full extent at the stages of design, building, use, rebuilding and reconstruction of sports facilities. For such objects it's necessary to develop Special Technical Regulations with different justifying calculations for requirements and parameters of fire protection systems. Also modern sports facility design and building require innovative technology application.

Future lines of work for integrated security and safety of sports facilities are suggested in conclusion:

- development of unified regulation in the field of fire safety;
- improvement of fire risk assessment technique.

Keywords: sports facility; large places of assembly; multi-purpose building; integrated safety and security; innovative solutions; actualization of technical rules and regulations in the field of fire safety; fire risk assessment.

REFERENCES

1. Mokhov A. I., Aristova L. V. Integrated safety of sport facility. *StroyProfil (Construction Profile)*, 2009, no. 2/1, pp. 33–34 (in Russian).
2. *Can-do approach. Safety of Olympic objects. Sochi-2014* (in Russian). Available at: http://www.asteros.ru/docs/olympic_construction.pdf (Accessed 6 January 2017).
3. Kryl S., Malikov E., Khristoforov A. Sport facilities safety. Round table meeting. *Bezopasnost. Dostovernost. Informatsiya (BDI) (Safety. Reliability. Information (SRI))*, 2014, 30 May, no. 3 (in Russian). Available at: http://www.smt-vc.ru/press_centra/articles/bezopasnost-stadionov-i-sportivno-kulturnykh-obektov-bdi-3-2014 (Accessed 6 January 2017).

4. Sartori A., Ninkhoff H. *How to build good stadium: user guidance* (in Russian). Available at: https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2014/04/S_TS_Stadiums_4r_new.pdf (Accessed 6 January 2017).
5. Stephen Logan. *A performance-based approach to allow design flexibility and improve stadia fire safety (interview)*. Available at: <http://www.aurecongroup.com/en/thinking/archive/stadia-fire-safety.aspx> (Accessed 6 January 2017).
6. Gorban Yu., Nikonchuk M. Special aspects of fire-extinguishing system choice in different zones of modern big stadium. *Algoritm bezopasnosti (Security Algorithm)*, 2015, no. 1, pp. 28–31 (in Russian).
7. Meshalkin E. A. Special aspects of applying the requirements of technical regulations, codes of rules and special technical regulations in design of smoke exhaust ventilation. *Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (ABOK)*, 2015, no. 3, pp. 34–39 (in Russian).
8. Robert S. Shiels. The Fatalities at the Ibrox Disaster of 1902. *The Sports Historian*, 1998, vol. 18, no. 2, pp. 148–155. DOI: 10.1080/17460269809445801.
9. Lysenko O. At the game as on the war. *Championship, Football*, 2 February 2012 (in Russian). Available at: <http://www.championat.com/football/article-111551-na-igre-kak-na-vojne.html> (Accessed 6 January 2017).
10. Bredinskiy A. Football “terrorism”: evolution, trends and special aspects of football matches safety. *Algoritm bezopasnosti (Security Algorithm)*, 2015, no. 1, pp. 14–16 (in Russian).
11. Ivanov N., Stetskiy V. Security equipment for sport facilities. *Algoritm bezopasnosti (Security Algorithm)*, 2015, no. 1, pp. 6–8 (in Russian).
12. Zaikov M. Safety requirements for international sport events. World Championship–2018 — Who set the rules? *Algoritm bezopasnosti (Security Algorithm)*, 2015, no. 1, pp. 10–12 (in Russian).
13. Philippov A. Fire safety requirements for covered sport facilities. *Algoritm bezopasnosti (Security Algorithm)*, 2015, no. 1, pp. 23–25 (in Russian).
14. Zaitsev A. V. People warning and evacuation from fire at sport facilities. *Algoritm bezopasnosti (Security Algorithm)*, 2015, no. 1, pp. 34–36 (in Russian).
15. Ali I. M., Hashim A. E., Wan-Ismail W. Z., Isnin Z., Mohd-Nazeri M. A. Spectators safety awareness in outdoor stadium facilities. *Procedia Engineering*, 2011, vol. 20, pp. 98–104. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.143.
16. Stacey A. Hall. Sport event safety and security: the importance of training your people. *Security Magazine*, June 2010. Available at: <http://www.securitymagazine.com/articles/80915-sport-event-safety-and-security-the-importance-of-training-your-people-1> (Accessed 6 January 2017).
17. *Guide to Safety at Sports Grounds*. 5 edition. London, The Stationery Office, 2008. 228 p. Available at: <http://www.flaweb.org.uk/sites/default/files/publications/green-guide.pdf> (Accessed 6 January 2017).
18. Myakon'kov V., Shelyakova J. *On methodological approach to justify system to ensure integrated safety and security at sports venues*. Available at: <http://www.teoriya.ru/ru/node/3564> (Accessed 6 January 2017).
19. Giletich A. N., Eremina T. Yu., Tikhonova N. V. Application of International Standards BS 7974 and ISO/TS 16733 to probabilistic assessment of fire risk. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2013, no. 2, pp. 113–124 (in Russian).

For citation: Eremina T. Yu., Tregubova I. V., Tikhonova N. V. Sports facility fire safety: Russian and international design standards, fire safety innovative solutions. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 12–22. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.12-22.

И. А. КАЙБИЧЕВ, д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры математики и информатики, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Kaibichev@mail.ru)

Е. И. КАЙБИЧЕВА, магистр экономики, главный специалист Управления по научно-исследовательской работе, Уральский государственный экономический университет (Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62)

УДК 332.01+336.52+519.25

РАСЧЕТ ИНДЕКСА ПОЖАРОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА 2011–2015 ГОДЫ

Выполнен расчет индекса пожаров в Российской Федерации за 2011–2015 годы. Проведено категорирование регионов, которое позволит сравнивать их по сложившейся в них ситуации с пожарами. Определены “опасная” и “кризисная” группы регионов. Рассчитаны частоты попадания регионов РФ в “опасную” и “кризисную” группы. Показано, что полученные результаты могут быть полезными для обоснования управленческих и кадровых решений.

Ключевые слова: пожарная безопасность; число пожаров; статистика пожаров; индекс пожаров; индекс Доу-Джонса.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.23-30

В последние годы внимание многих исследователей приковано к мировой пожарной статистике [1–3]. Такие исследования актуальны, поскольку их результаты могут быть применены для обоснования финансирования деятельности противопожарных служб, а также для обоснования создания системы обязательного страхования от пожаров. В связи с этим актуальным представляется изучение статистических данных по пожарам в Российской Федерации

[4–8]. В рамках реализации Федерального закона Российской Федерации “О стратегическом планировании в Российской Федерации” [9] перед государственными исполнительными органами ставится задача совершенствования планирования управленческой деятельности, в том числе в области пожарной безопасности.

Все вышесказанное определяет актуальность разработки технических инструментов для оценки

Таблица 1. Листинг расчета индекса пожаров за 2011 г.

№ п/п	Регион	Число пожаров	№ п/п	Регион	Число пожаров
1	Московская область	8725	16	Иркутская область	3729
2	г. Москва	8093	17	Республика Татарстан	3572
3	Приморский край	6035	18	Ленинградская область	3566
4	Красноярский край	4695	19	Ростовская область	3514
5	Республика Башкортостан	4615	20	Волгоградская область	3207
6	Свердловская область	4569	21	Омская область	2759
7	Челябинская область	4458	22	Воронежская область	2658
8	Краснодарский край	4168	23	Пермский край	2572
9	Кемеровская область	3924	24	Саратовская область	2539
10	Алтайский край	3916	25	Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	2388
11	Хабаровский край	3914	26	Оренбургская область	2320
12	Самарская область	3805	27	Архангельская область	2069
13	Новосибирская область	3796	28	Брянская область	1990
14	Нижегородская область	3745	29	Тюменская область	1984
15	г. Санкт-Петербург	3742	30	Кировская область	1983
Индекс пожаров					3768

Таблица 2. Листинг расчета индекса пожаров за 2012 г.

№ п/п	Регион	Число пожаров
1	Московская область	8286
2	г. Москва	7568
3	Приморский край	5664
4	Красноярский край	4757
5	Республика Башкортостан	4612
6	Челябинская область	4453
7	Свердловская область	4361
8	Краснодарский край	4119
9	Алтайский край	3872
10	Кемеровская область	3768
11	Новосибирская область	3758
12	Хабаровский край	3745
13	Самарская область	3602
14	Нижегородская область	3574
15	Иркутская область	3565
16	Республика Татарстан	3513
17	г. Санкт-Петербург	3480
18	Ленинградская область	3453
19	Ростовская область	3302
20	Волгоградская область	3178
21	Омская область	2753
22	Пермский край	2555
23	Саратовская область	2529
24	Воронежская область	2517
25	Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	2348
26	Оренбургская область	2310
27	Архангельская область	2026
28	Кировская область	1974
29	Тюменская область	1949
30	Брянская область	1947
Индекс пожаров		3651

состояния пожарной безопасности. В работах [10, 11] был рассчитан индекс пожаров в Российской Федерации за 2006–2010 гг. В настоящей работе выполним расчет индекса пожаров на территории РФ за период 2011–2015 гг. Метод расчета этого индекса основан на подходе Доу-Джонса [12–14].

Как известно, в экономике и на фондовом рынке существовала проблема категорирования промышленных корпораций. Она была решена с помощью введения фондовых индексов [12–14], наиболее известным из которых является индекс Доу-Джонса.

В результате расчета (методика дана в [10, 11]) были получены листинги расчета индекса пожаров за 2011–2015 гг. (табл. 1–5).

Таблица 3. Листинг расчета индекса пожаров за 2013 г.

№ п/п	Регион	Число пожаров
1	Московская область	7902
2	г. Москва	6933
3	Приморский край	5524
4	Красноярский край	4551
5	Республика Башкортостан	4396
6	Челябинская область	4292
7	Краснодарский край	4008
8	Свердловская область	3888
9	Кемеровская область	3641
10	Хабаровский край	3587
11	Алтайский край	3568
12	Новосибирская область	3541
13	Республика Татарстан	3430
14	Иркутская область	3351
15	Самарская область	3348
16	г. Санкт-Петербург	3289
17	Ленинградская область	3230
18	Нижегородская область	3114
19	Волгоградская область	2974
20	Ростовская область	2931
21	Омская область	2593
22	Саратовская область	2442
23	Пермский край	2375
24	Воронежская область	2339
25	Оренбургская область	2278
26	Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	2095
27	Архангельская область	1957
28	Тюменская область	1920
29	Брянская область	1894
30	Кировская область	1790
Индекс пожаров		3439

Как видно из табл. 1–5, в листинг попадают 30 регионов Российской Федерации с максимальным числом пожаров. В дальнейшем эти регионы будем считать опасными.

Индекс пожаров рассчитываем путем усреднения показателей регионов, попавших в листинг.

В листингах (см. табл. 1–5) можно выделить кризисную группу. В нее целесообразно включить регионы РФ с числом пожаров, превышающим значение индекса пожаров.

В кризисную группу в 2011 г. вошли 13 регионов (см. табл. 1): Московская область, г. Москва, Приморский и Красноярский края, Республика Башкортостан, Свердловская и Челябинская области, Крас-

Таблица 4. Листинг расчета индекса пожаров за 2014 г.

№ п/п	Регион	Число пожаров
1	Московская область	7878
2	г. Москва	6845
3	Приморский край	5328
4	Красноярский край	4530
5	Республика Башкортостан	4294
6	Челябинская область	4290
7	Краснодарский край	3915
8	Свердловская область	3772
9	Хабаровский край	3546
10	Новосибирская область	3456
11	Республика Татарстан	3424
12	Кемеровская область	3396
13	Алтайский край	3375
14	Самарская область	3363
15	Иркутская область	3358
16	Ленинградская область	3227
17	г. Санкт-Петербург	3197
18	Нижегородская область	2999
19	Волгоградская область	2940
20	Ростовская область	2922
21	Саратовская область	2431
22	Омская область	2289
23	Оренбургская область	2268
24	Пермский край	2240
25	Воронежская область	2233
26	Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	2028
27	Архангельская область	1911
28	Тюменская область	1891
29	Брянская область	1874
30	Кировская область	1782
Индекс пожаров		3367

нодарский край, Кемеровская область, Алтайский и Хабаровский края, Самарская и Новосибирская области.

В 2012 г. состав кризисной группы сократился до 11 регионов (см. табл. 2): Московская область, г. Москва, Приморский и Красноярский края, Республика Башкортостан, Челябинская и Свердловская области, Краснодарский и Алтайский края, Кемеровская и Новосибирская области.

В 2013 г. наблюдается увеличение кризисной группы до 13 регионов (см. табл. 3): Московская область, г. Москва, Приморский и Красноярский края, Республика Башкортостан, Челябинская область, Краснодарский край, Свердловская и Кемеровская

Таблица 5. Листинг расчета индекса пожаров за 2015 г.

№ п/п	Регион	Число пожаров
1	Московская область	7585
2	г. Москва	6034
3	Приморский край	5003
4	Красноярский край	4459
5	Республика Башкортостан	4137
6	Челябинская область	4136
7	Краснодарский край	3884
8	Свердловская область	3672
9	Республика Татарстан	3372
10	Алтайский край	3344
11	Новосибирская область	3245
12	Хабаровский край	3189
13	Иркутская область	3189
14	Кемеровская область	3135
15	г. Санкт-Петербург	3134
16	Самарская область	3110
17	Ленинградская область	3067
18	Нижегородская область	2915
19	Волгоградская область	2902
20	Ростовская область	2708
21	Саратовская область	2423
22	Пермский край	2172
23	Воронежская область	2150
24	Оренбургская область	2128
25	Омская область	2115
26	Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	2002
27	Тюменская область	1869
28	Брянская область	1836
29	Архангельская область	1809
30	Кировская область	1735
Индекс пожаров		3215

области, Хабаровский и Алтайский края, Новосибирская область, Республика Татарстан.

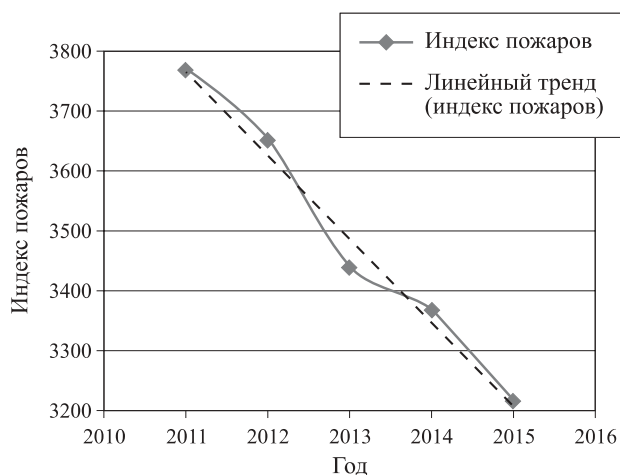
В 2014 г. в составе кризисной группы по сравнению с ситуацией 2013 г. изменений не произошло (см. табл. 4).

В кризисную группу в 2015 г. попали 11 регионов (см. табл. 5): Московская область, г. Москва, Приморский и Красноярский края, Республика Башкортостан, Челябинская область, Краснодарский край, Свердловская область, Республика Татарстан, Алтайский край, Новосибирская область.

Отметим, что индекс пожаров в Российской Федерации в 2011–2015 гг. имеет нисходящий тренд (см. рисунок).

Таблица 6. Места регионов в листингах расчета индекса пожаров за 2011–2015 гг.

№ п/п	Регион	Место региона в листинге в году				
		2011	2012	2013	2014	2015
Центральный федеральный округ (ЦФО)						
1	Брянская область	28	30	29	29	29
2	Воронежская область	22	24	24	25	23
3	г. Москва	2	2	2	2	2
4	Московская область	1	1	1	1	1
Северо-Западный федеральный округ (СЗФО)						
5	Архангельская область	27	27	27	27	29
6	Ленинградская область	18	18	17	16	17
7	г. Санкт-Петербург	15	17	16	17	15
Приволжский федеральный округ (ПФО)						
8	Республика Башкортостан	5	5	5	5	5
9	Кировская область	30	28	30	30	30
10	Нижегородская область	14	14	18	18	18
11	Оренбургская область	26	26	25	23	24
12	Пермский край	23	22	23	24	22
13	Самарская область	12	13	15	14	16
14	Саратовская область	24	23	22	21	21
15	Республика Татарстан	17	16	13	11	9
Южный федеральный округ (ЮФО)						
16	Волгоградская область	20	20	19	19	19
17	Краснодарский край	8	8	7	7	7
18	Ростовская область	19	19	20	20	20
Уральский федеральный округ (УрФО)						
19	Свердловская область	6	7	8	8	8
20	Тюменская область	29	29	28	28	27
21	Ханты-Мансийский авто- номный округ — Югра	25	25	26	26	26
22	Челябинская область	7	6	6	6	6
Сибирский федеральный округ (СФО)						
23	Алтайский край	10	9	11	13	10
24	Иркутская область	16	15	14	15	13
25	Кемеровская область	9	10	9	12	14
26	Красноярский край	4	4	4	4	4
27	Новосибирская область	13	11	12	10	11
28	Омская область	21	21	21	22	25
Дальневосточный федеральный округ (ДФО)						
29	Приморский край	3	3	3	3	3
30	Хабаровский край	11	12	10	9	12



Динамика изменения индекса пожаров в Российской Федерации за 2011–2015 гг.

Рассчитанные значения индекса пожаров в Российской Федерации за 2011–2015 гг. аппроксимируем линейным трендом:

$$Y = -139,06X + 283416, \quad (1)$$

где Y — значение индекса пожаров;
 X — номер года (1 соответствует 2011 году, 2 — 2012, 3 — 2013, 4 — 2014, 5 — 2015).

Анализ мест регионов в листингах расчета индекса пожаров (табл. 6) показывает наличие двух категорий регионов (цветом выделены регионы, попавшие в кризисную группу).

Регионы первой категории присутствовали в листингах расчета индекса пожаров в течение 5 лет, второй — в листинги за 2011–2015 гг. не попали ни разу (табл. 7).

Таблица 7. Частота попадания регионов в листинг расчета индекса пожаров

Категория	Регионы РФ	Частота
1	Брянская, Воронежская, Московская области, г. Москва (ЦФО); Архангельская, Ленинградская области, г. Санкт-Петербург (СЗФО); Республика Башкортостан, Кировская, Нижегородская, Оренбургская области, Пермский край, Самарская, Саратовская области, Республика Татарстан (ПФО); Волгоградская область, Краснодарский край, Ростовская область (ЮФО); Свердловская, Тюменская области, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, Челябинская область (УрФО); Алтайский край, Иркутская, Кемеровская области, Красноярский край, Новосибирская, Омская области (СФО); Приморский, Хабаровский края (ДФО)	0,033
2	Все остальные регионы РФ, не попавшие в категорию 1	0

Таблица 8. Частота попадания регионов в кризисную группу

Категория	Регионы РФ	Частота
1	Московская область, г. Москва (ЦФО); Республика Башкортостан (ПФО); Краснодарский край (ЮФО); Свердловская, Челябинская области (УрФО); Алтайский, Красноярский края, Новосибирская область (СФО); Приморский край (ДФО)	0,082
2	Кемеровская область (СФО)	0,066
3	Республика Татарстан (ПФО); Хабаровский край (ДФО)	0,049
4	Нет	0
5	Самарская область (ПФО)	0,016
6	Все остальные регионы РФ, не попавшие в категории 1–5	0

В результате анализа состава кризисной группы (см. табл. 6) выделены шесть категорий регионов. Регионы первой категории присутствовали в листингах в течение 5 лет, второй — попали в листинги 4 раза, третьей — 3 раза, четвертой — 2 раза, пятой — 1 раз, шестой — 0 раз (табл. 8).

Выполненный в настоящей работе расчет индекса пожаров в Российской Федерации за 2011–2015 гг. может быть полезен для обоснования создания системы обязательного страхования от пожаров [15, 16]. Индекс пожаров позволяет провести сравнительный анализ пожарной опасности регионов [17–20], обосновать методы оценки и ранжирования пожарной опасности регионов [21], а также методы и механизмы оптимального управления пожарной безопасностью региона [22–24], совершенствования методов обоснования потребности подразделений ГПС в ресурсах [25].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Международная пожарная статистика международной ассоциации пожарно-спасательных служб // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. — 2016. — Вып. 1(18). — С. 72–104.
2. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. World Fire Statistics / Center of Fire Statistics of CTIF. — 2016. — Reports No. 21. — 60 p. URL: http://ctif.org/sites/default/files/ctif_report21_world_fire_statistics_2016.pdf (дата обращения: 05.12.2016).
3. World Fire Statistics / Information Bulletin of the Geneva Association. — 2014. — No. 29. — 18 p. URL: <https://www.genevaassociation.org/media/874729/ga2014-wfs29.pdf> (дата обращения: 05.12.2016).
4. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году : статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ВНИИПО, 2012. — 137 с.
5. Пожары и пожарная безопасность в 2012 году : статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ВНИИПО, 2013. — 137 с.
6. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году : статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ВНИИПО, 2014. — 137 с.
7. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году : статистический сборник / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2015. — 124 с.
8. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году : статистический сборник / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2016. — 124 с.
9. О стратегическом планировании в Российской Федерации : Федер. закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=275828> (дата обращения: 05.12.2016).
10. Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И. Индекс пожаров в Российской Федерации за 2006–2010 годы // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 3. — С. 57–65. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.57-65.
11. Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И. Индексы пожарной опасности и оперативного реагирования ФПС МЧС России. — Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2016. — 172 с.
12. Берзон Н. И., Аршавский А. Ю., Буянова Е. А. Фондовый рынок. — 3-е изд. — М. : ИТА-ПРЕСС, 2002. — 559 с.
13. O'Sullivan A., Sheffrin S. M. Economics: Principles in action. — Boston : Pearson Prentice Hall, 2007. — 609 p.
14. Anderson B. Economics and the public welfare. Financial and economic history of the United States, 1914–1946. — New York : Liberty Press, 1979. — 602 p.
15. Куликова М. Н. Обязательное взаимное страхование строений от пожара в России : дис. ... канд. экон. наук. — М., 2011. — 160 с.

16. Дадьков В. Н. Формирование отраслевых систем взаимного страхования и перспективы их развития : дис. ... д-ра экон. наук. — М., 2007. — 395 с.
17. Давиденко М. В. Сравнительный анализ пожарной опасности регионов в интересах повышения эффективности деятельности органов ГПН (на примере Мурманской области) : дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2012. — 128 с.
18. Шахрамьян М. А., Акимов В. А., Козлов К. А. Сибирский регион России: опасности природного, техногенного и экологического характера // Экология и промышленность России. — 2003. — № 5. — С. 22–23.
19. Шахрамьян М. А., Акимов В. А. Субъекты Северо-Кавказского региона: опасности природного, техногенного и экологического характера // Экология и промышленность России. — 2000. — № 8. — С. 12–16.
20. Шахрамьян М. А., Акимов В. А., Козлов К. А. Субъекты Уральского региона: опасности природного, техногенного и экологического характера // Экология и промышленность России. — 2003. — № 1. — С. 28–32.
21. Тарасенко В. А. Методика оценки и ранжирования объектов и территорий железнодорожного транспорта по показателям чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами (на примере Восточно-Сибирской железной дороги) : дис. ... канд. техн. наук. — Иркутск, 2006. — 192 с.
22. Половинкина А. И. Модели и механизмы оптимального управления пожарной безопасностью региона : дис. ... канд. техн. наук. — Воронеж, 2003. — 189 с.
23. Савинский А. Ф. Совершенствование процессов управления подразделениями государственной пожарно-спасательной службы в условиях функционирования единой дежурно-диспетчерской службы : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2004. — 24 с.
24. Кузнецов М. Ю. Совершенствование процессов управления при реорганизации структуры государственной противопожарной службы МЧС России : дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2006. — 169 с.
25. Путин В. С. Совершенствование методов обоснования ресурсной потребности территориальных подразделений Государственной противопожарной службы : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2004. — 213 с.

Материал поступил в редакцию 12 декабря 2016 г.

Для цитирования: Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И. Расчет индекса пожаров в Российской Федерации за 2011–2015 годы // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 3. — С. 23–30. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.23-30.

English

FIRE INDEX IN RUSSIAN FEDERATION FOR 2011–2015 YEARS

KAIBICHEV I. A., Doctor of Mathematics and Physics Sciences, Associated Professor, Professor of Department of Mathematics and Computer Science, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail: Kaibichev@mail.ru)

KAIBICHEVA E. I., Master of Economics, Chief Specialist of Department for Research Work, Ural State University of Economics (8 Marta St., 62, Yekaterinburg, 620219, Russian Federation)

ABSTRACT

For realization of the Federal law to Russian Federation “About strategic planning” necessary to conduct regions category on number of fires. This will allow to motivate the separation of the financial facilities subject of Russian Federation on fire-prevention measures, as well as distribution finance to regional subdivisions of Emercom of Russia. Regions categories subject of Russian Federation is

offered run for base of the calculation of the index fire in Russian Federation. The methods of the calculation of the index fire in much similar way calculation of the index Dow Jones Average, which is broadly used since 1884 for estimation of the condition stock market and economy USA. Innovation were incorporated in ditto time. The prices of the shares corporation USA were a change by number fire in region of Russian Federation. The industrial corporations USA were replaced subject to Russian Federation. The most largest 30 corporations USA which enter in listings of the payment of the index Dow Jones Average and this list is seldom changed. In listings of the payment of the index fire 30 regions get in Russian Federation with maximum number fire, composition of the listings is variable. Payment of the index fire is executed in work in Russian Federation for 2011–2015 and on its base is organized regions categories. This will allow to compare the situation with fire in regions of the Russian Federation. In total there are determined “dangerous” and “crisis” groups region. In dangerous regions group it will be necessary to develop the program on reduction of the number of fires, but in crisis group — take urgent and priority measures. There are computed frequencies of the hit region Russia in listings of the calculation of fire index for 2011–2015 years, as well as in crisis group. The got results can be useful for motivation management and trained decisions.

Keywords: fire safety; number of fires; fire statistics; fire index; Dow Jones Average.

REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. International fire statistics of the International association of fire and rescue services. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii (Herald of Voronezh Institute of State Firefighting Service of Emercom of Russia)*, 2016, issue 1(18), pp. 71–103 (in Russian).
2. Brushlinskiy N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. *World Fire Statistics. Center of Fire Statistics of CTIF*, 2016, Reports No. 21. 60 p. Available at: http://ctif.org/sites/default/files/ctif_report21_world_fire_statistics_2016.pdf (Accessed 5 December 2016).
3. World Fire Statistics. *Information Bulletin of the Geneva Association*, 2014, no. 29. 18 p. Available at: <https://www.genevaassociation.org/media/874729/ga2014-wfs29.pdf> (Accessed 5 December 2016).
4. Klimkin V. I. (ed.). *Fires and fire safety in 2011. Statistical yearbook*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2012. 137 p. (in Russian).
5. Klimkin V. I. (ed.). *Fires and fire safety in 2012. Statistical yearbook*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2013. 137 p. (in Russian).
6. Klimkin V. I. (ed.). *Fires and fire safety in 2013. Statistical yearbook*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2014. 137 p. (in Russian).
7. Matyushin A. V. (ed.). *Fires and fire safety in 2014. Statistical yearbook*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2015. 124 p. (in Russian).
8. Matyushin A. V. (ed.). *Fires and fire safety in 2015. Statistical yearbook*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2016. 124 p. (in Russian).
9. *On strategic planning in the Russian Federation. Federal Law on 28.06.2014 No. 172* (ed. 03.07.2016) (in Russian). Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=275828> (Accessed 5 December 2016).
10. Kaibichev I. A., Kaibicheva E. I. Fire index in Russian Federation for 2006–2010 years. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 3, pp. 57–65 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.57-65.
11. Kaibichev I. A., Kaibicheva E. I. *Fire danger indexes and operational response of FPS of Emercom of Russia*. Yekaterinburg, Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia, 2016. 172 p. (in Russian).
12. Berzon N. I., Arshavskiy A. Yu., Buyanova E. A. *Stock market*. 3rd ed. Moscow, ITA-PRESS Publ., 2002. 559 p. (in Russian).
13. O’Sullivan A., Sheffrin S. M. *Economics: Principles in action*. Boston, Pearson Prentice Hall, 2007. 609 p.
14. Anderson B. *Economics and the public welfare. Financial and economic history of the United States, 1914–1946*. New York, Liberty Press, 1979. 602 p.

15. Kulikova M. N. *Compulsory mutual insurance of buildings against fire in Russia*. Cand. econom. sci. diss. Moscow, 2011. 160 p. (in Russian).
16. Dadkov V. N. *Formation of branch systems of mutual insurance and the prospects of their development*. Dr. econom. sci. diss. Moscow, 2007. 395 p. (in Russian).
17. Davidenko M. V. *Comparative analysis of fire risk regions in order to enhance the effectiveness of the local GPN (on the example of Murmansk region)*. Cand. tech. sci. diss. Saint Petersburg, 2012. 128 p. (in Russian).
18. Shakhramanyan M. A., Akimov V. A., Kozlov K. A. Siberian region of Russia: hazards of natural, technogen and ecological type. *Ekologiya i promyshlennost Rossii (Ecology and Industry of Russia)*, 2003, no. 5, pp. 22–23 (in Russian).
19. Shakhramanyan M. A., Akimov V. A. Subjects of the North Caucasus region: hazards of natural, technogen and ecological type. *Ekologiya i promyshlennost Rossii (Ecology and Industry of Russia)*, 2000, no. 8, pp. 12–16 (in Russian).
20. Shakhramanyan M. A., Akimov V. A., Kozlov K. A. Subjects of Ural region: hazards of natural, technogen and ecological type. *Ekologiya i promyshlennost Rossii (Ecology and Industry of Russia)*, 2003, no. 1, pp. 28–32 (in Russian).
21. Tarasenko V. A. *Methods of evaluation and ranking of objects and territories of railway transport on indicators of emergency situations involving fires (on the example of East-Siberian railway)*. Cand. tech. sci. diss. Irkutsk, 2006. 192 p. (in Russian).
22. Polovinkina A. I. *Models and tools for the optimal management of fire safety in the region*. Cand. tech. sci. diss. Voronezh, 2003. 189 p. (in Russian).
23. Savinskiy A. F. *Process improvement management units of the state fire and rescuer service in terms of the operation of the single dispatcher service*. Abstr. cand. tech. sci. diss. Moscow, 2004. 24 p. (in Russian).
24. Kuznetsov M. Yu. *Improvement of management processes in the restructuring of the state fire service of Emercom of Russia*. Cand. tech. sci. diss. Saint Petersburg, 2006. 169 p. (in Russian).
25. Putin V. S. *Improving the methods of resource requirements justification of territorial divisions of the State fire service*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2004. 213 p. (in Russian).

For citation: Kaibichev I. A., Kaibicheva E. I. Fire index in Russian Federation for 2011–2015 years. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 23–30. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.23-30.

А. А. ТАРАНЦЕВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149); заведующий лабораторией, Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, 13; e-mail: t_54@mail.ru)

А. Л. ХОЛОСТОВ, д-р техн. наук, доцент, заместитель начальника кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: holostov@mail.ru)

А. Д. ИЩЕНКО, канд. техн. наук, доцент, начальник учебно-научного комплекса пожаротушения, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: adinko@mail.ru)

В. В. ПОТАПЕНКО, канд. техн. наук, начальник кафедры пожарной безопасности, Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала А. В. Хрулёва (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22; e-mail: pww@mail.ru)

УДК 614.84

О ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАЯВОК НЕСКОЛЬКИХ ТИПОВ

Рассмотрены задачи анализа и синтеза систем массового обслуживания (например, систем противопожарной защиты объекта) заявок нескольких типов, требующих привлечения одного, двух или более каналов (например, пожарно-спасательных подразделений). Получены аналитические выражения для вероятностей состояний систем обслуживания. Сформулирована задача анализа как нахождение вероятности отказа системы в приеме заявки какого-либо типа по причине занятости всех каналов, когда известны интенсивности поступления заявок и скорости их обслуживания. Сформулирована задача синтеза как нахождение необходимого числа каналов обслуживания при заданных ограничениях на вероятность отказа в приеме заявок. Показана возможность решения задачи синтеза с использованием номограмм.

Ключевые слова: опасная ситуация; мобильные подразделения; экстренные службы; система массового обслуживания; вероятность отказов.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.31-38

Введение

В работе [1] рассмотрены n -канальные системы массового обслуживания (СМО), предназначенные для работы с заявками различных типов, прием и обслуживание которых требует привлечения либо одного, либо двух или трех каналов обслуживания (КО). Актуальность такой задачи обусловлена наличием автономных объектов [2, 3], на которых могут возникать опасные ситуации (например, пожары) различной сложности, когда для их ликвидации требуется привлечение либо одного пожарно-спасательного подразделения (в терминах СМО — канала обслуживания), либо одновременно двух или трех подразделений при условии, что число таких подразделений n ограничено. Это относится как к промышленным предприятиям и населенным пунктам [4–9], так и к крупным дорожным магистралям и объектам в Арктической зоне [2, 3, 10–12].

В рамках общепринятых допущений теории массового обслуживания [13, 14] при наличии интен-

сивностей поступления заявок 1-го типа λ_1 (для обслуживания которых достаточно привлечь один КО), 2-го типа λ_2 (два КО) и 3-го типа λ_3 (три КО), а также интенсивностей обслуживания заявок соответственно μ_1 , μ_2 и μ_3 в работе [1] получены системы уравнений для вероятностей состояний таких СМО и представлены соответствующие им графы переходов.

На этапах проектирования и функционирования СМО возникают две характерные задачи — анализ и синтез [13–15]. Задача анализа сводится к нахождению состояний СМО $\{p\}$ (прежде всего вероятностей отказа в приеме заявок любого типа $p_{\text{отк}}$, 2-го типа p_{II} и 3-го типа p_{III}) при заданном числе КО n , когда известны интенсивности $\{\lambda\}$ и $\{\mu\}$. Задача синтеза в наиболее распространенном случае заключается в нахождении минимально необходимого числа КО n при известных интенсивностях $\{\lambda\}$ и $\{\mu\}$ и заданных ограничениях на допустимые вероятности отказов $p_{\text{отк}}$, p_{II} и p_{III} . В ряде случаев при

синтезе СМО требуется найти необходимые интенсивности обслуживания $\{\mu\}$ (например, снабдить пожарно-спасательные подразделения специальным оборудованием и увеличить штат подразделений для сокращения времени тушения пожара) при известных значениях $\{\lambda\}$ и n и допустимых вероятностях отказов.

Системы обслуживания заявок двух типов

В работе [1] приведены математические выражения в виде систем уравнений, связывающих вероятности состояний $\{p\}$ СМО с числом КО $n = 2 \dots 7$, куда поступают заявки двух типов с интенсивностями λ_1 и λ_2 , которые обслуживаются в КО со скоростями (интенсивностями) μ_1 и μ_2 соответственно. Авторам удалось получить явные аналитические(!) решения этих систем уравнений через приведенные нагрузки $\alpha_1 = \lambda_1/\mu_1$ и $\alpha_2 = \lambda_2/\mu_2$ (табл. 1), а так-

же общие выражения для вероятностей незанятости всех n КО p_0 и вероятностей отказов $p_{\text{отк}}$ и p_{II} :

$$p_0^{-1} = \sum_{j=0}^{C(n/2)} \frac{\alpha_2^j}{j!} \sum_{i=0}^{n+2j} \frac{\alpha_1^i}{i!}; \quad (1)$$

$$\frac{p_{\text{отк}}}{p_0} = \sum_{j=0}^{C(n/2)} \frac{\alpha_2^j}{j!} \frac{\alpha_1^{n-2j}}{(n-2j)!}; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{p_{\text{II}}}{p_0} = & \frac{\alpha_2^{C(n/2)}}{C(n/2)!} \left[n - 2C\left(\frac{n}{2}\right) + \alpha_1^{n-2C(n/2)} \right] + \\ & + \sum_{j=0}^{C(n/2)-1} \frac{\alpha_2^j}{j!} \left[\frac{\alpha_1^{n-j}}{(n-j)!} + \frac{\alpha_1^{n-j-1}}{(n-j-1)!} \right], \end{aligned} \quad (3)$$

где $C(x)$ — функция взятия целого числа от x , например: $C(2) = 2$, $C(2,5) = 2$, $C(3,5) = 3$ и т. д.

Выражения (1)-(3) можно использовать для анализа работы n -канальной СМО данного типа. Для

Таблица 1. Выражения для оценки вероятностей состояний СМО с двумя типами заявок

n	Система уравнений	Аналитическое решение	Номер рисунка в [1]
2	$0 = -(\lambda_1 + \lambda_2)p_0 + \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_1 + \mu_1)p_1 + 2\mu_1 p_3;$ $0 = \lambda_2 p_0 - \mu_2 p_2;$ $0 = \lambda_1 p_1 - 2\mu_1 p_3$	$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^2 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \alpha_2; p_1 = \alpha_1 p_0; p_2 = \alpha_2 p_0;$ $p_3 = 0,5\alpha_1^2 p_0; p_{\text{отк}} = p_2 + p_3 = (\alpha_2 + 0,5\alpha_1^2) p_0;$ $p_{\text{II}} = p_1 + p_3 = (\alpha_1 + \alpha_2 + 0,5\alpha_1^2) p_0$	1
3	$0 = -(\lambda_1 + \lambda_2)p_0 + \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)p_1 + 2\mu_1 p_3 + \mu_2 p_4;$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \mu_2)p_2 + \mu_1 p_4;$ $0 = \lambda_1 p_1 - (\lambda_1 + 2\mu_1)p_3 + 3\mu_1 p_5;$ $0 = \lambda_2 p_1 - (\mu_1 + \mu_2)p_4 + \lambda_1 p_2;$ $0 = \lambda_1 p_3 - 3\mu_1 p_5$	$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^3 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \alpha_2 \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_1^i}{i!}; p_1 = \alpha_1 p_0; p_2 = \alpha_2 p_0;$ $p_3 = 0,5\alpha_1^2 p_0; p_4 = \alpha_1 \alpha_2 p_0; p_5 = \alpha_1^3 p_0/6;$ $p_{\text{отк}} = p_4 + p_5 = (\alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1^3/6) p_0;$ $p_{\text{II}} = p_1 + p_2 + p_3 = [\alpha_2(1 + \alpha_1) + 0,5\alpha_1^2 + \alpha_1^3/6] p_0$	2
4	$0 = -(\lambda_1 + \lambda_2)p_0 + \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)p_1 + 2\mu_1 p_3 + \mu_2 p_4;$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)p_2 + \mu_1 p_4 + 2\mu_2 p_5;$ $0 = \lambda_1 p_1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 2\mu_1)p_3 + 3\mu_1 p_6 + \mu_2 p_7;$ $0 = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 - (\mu_2 + \mu_1 + \lambda_1)p_4 + 2\mu_1 p_7;$ $0 = \lambda_2 p_2 - 2\mu_2 p_5;$ $0 = \lambda_1 p_3 - (3\mu_1 + \lambda_1)p_6 + 4\mu_1 p_8;$ $0 = \lambda_2 p_3 + \lambda_1 p_4 - (\mu_2 + 2\mu_1)p_7;$ $0 = \lambda_1 p_6 - 4\mu_1 p_8$	$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^4 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \alpha_2 \sum_{i=0}^2 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \frac{\alpha_2^2}{2}; p_1 = \alpha_1 p_0; p_2 = \alpha_2 p_0;$ $p_3 = 0,5\alpha_1^2 p_0; p_4 = \alpha_1 \alpha_2 p_0; p_5 = 0,5\alpha_2^2 p_0; p_6 = \alpha_1^3 p_0/6;$ $p_7 = 0,5\alpha_1^2 \alpha_2 p_0; p_8 = \alpha_1^4 p_0/24;$ $p_{\text{отк}} = p_5 + p_7 + p_8 = \left(\frac{\alpha_2^2}{2} + \alpha_2 \frac{\alpha_1^2}{2} + \frac{\alpha_1^4}{24} \right) p_0;$ $p_{\text{II}} = p_1 + p_4 + p_6 = \left[\frac{\alpha_2^2}{2} + \alpha_2 \left(\alpha_1 + \frac{\alpha_1^2}{2} \right) + \frac{\alpha_1^3}{6} + \frac{\alpha_1^4}{24} \right] p_0$	3
5	$0 = -(\lambda_1 + \lambda_2)p_0 + \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)p_1 + 2\mu_1 p_3 + \mu_2 p_4;$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)p_2 + \mu_1 p_4 + 2\mu_2 p_5;$ $0 = \lambda_1 p_1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 2\mu_1)p_3 + 3\mu_1 p_6 + \mu_2 p_7;$ $0 = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2 + \mu_1)p_4 + 2\mu_1 p_7 + 2\mu_2 p_8;$ $0 = \lambda_2 p_2 - (\lambda_1 + 2\mu_2)p_5 + \mu_1 p_8;$ $0 = \lambda_1 p_3 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 3\mu_1)p_6 + 4\mu_1 p_9 + \mu_2 p_{10};$ $0 = \lambda_2 p_3 + \lambda_1 p_4 - (\lambda_1 + \mu_2 + 2\mu_1)p_7 + 3\mu_1 p_{10};$ $0 = \lambda_2 p_4 + \lambda_1 p_5 - (2\mu_2 + \mu_1)p_8;$ $0 = \lambda_1 p_6 - (4\mu_1 + \lambda_1)p_9 + 5\mu_1 p_{11};$ $0 = \lambda_2 p_6 + \lambda_1 p_7 - (\mu_2 + 3\mu_1)p_{10};$ $0 = \lambda_1 p_9 - 5\mu_1 p_{11}$	$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \alpha_2 \sum_{i=0}^3 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \frac{\alpha_2^2}{2} \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_1^i}{i!}; p_1 = \alpha_1 p_0;$ $p_2 = \alpha_2 p_0; p_3 = 0,5\alpha_1^2 p_0; p_4 = \alpha_1 \alpha_2 p_0; p_5 = 0,5\alpha_2^2 p_0;$ $p_6 = \alpha_1^3 p_0/6; p_7 = 0,5\alpha_1^2 \alpha_2 p_0; p_8 = 0,5\alpha_1 \alpha_2^2 p_0;$ $p_9 = \alpha_1^4 p_0/24; p_{10} = \alpha_1^3 \alpha_2 p_0/6; p_{11} = \alpha_1^5 p_0/120;$ $p_{\text{отк}} = p_8 + p_{10} + p_{11} = \left(\frac{\alpha_2^2}{2} \alpha_1 + \alpha_2 \frac{\alpha_1^3}{6} + \frac{\alpha_1^5}{120} \right) p_0;$ $p_{\text{II}} = p_1 + p_5 + p_7 + p_9 =$ $= \left[\frac{\alpha_2^2}{2} (1 + \alpha_1) + \alpha_2 \left(\frac{\alpha_1^2}{2} + \frac{\alpha_1^3}{62} \right) + \frac{\alpha_1^4}{24} + \frac{\alpha_1^5}{120} \right] p_0$	4

n	Система уравнений	Аналитическое решение	Номер рисунка в [1]
6	$0 = -(\lambda_1 + \lambda_2)p_0 + \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)p_1 + 2\mu_1 p_3 + \mu_2 p_4;$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)p_2 + \mu_1 p_4 + 2\mu_2 p_5;$ $0 = \lambda_1 p_1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 2\mu_1)p_3 + 3\mu_1 p_6 + \mu_2 p_7;$ $0 = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2 + \mu_1)p_4 + 2\mu_1 p_7 + 2\mu_2 p_8;$ $0 = \lambda_2 p_2 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 2\mu_2)p_5 + \mu_1 p_8 + 3\mu_2 p_9;$ $0 = \lambda_1 p_3 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 3\mu_1)p_6 + 4\mu_1 p_{10} + \mu_2 p_{11};$ $0 = \lambda_2 p_3 + \lambda_1 p_4 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2 + 2\mu_1)p_7 + 3\mu_1 p_{11} + 2\mu_2 p_{12};$ $0 = \lambda_2 p_4 + \lambda_1 p_5 - (\lambda_1 + 2\mu_2 + \mu_1)p_8 + 2\mu_1 p_{12};$ $0 = \lambda_2 p_5 - 3\mu_2 p_9;$ $0 = \lambda_1 p_6 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 4\mu_1)p_{10} + 5\mu_1 p_{13} + \mu_2 p_{14};$ $0 = \lambda_2 p_6 + \lambda_1 p_7 - (\lambda_1 + \mu_2 + 3\mu_1)p_{11} + 4\mu_1 p_{14};$ $0 = \lambda_2 p_7 + \lambda_1 p_8 - (2\mu_2 + 2\mu_1)p_{12};$ $0 = \lambda_1 p_{10} - (\lambda_1 + 5\mu_1)p_{13} + 6\mu_1 p_{15};$ $0 = \lambda_2 p_{10} + \lambda_1 p_{11} - (\mu_2 + 4\mu_1)p_{14};$ $0 = \lambda_1 p_{13} - 6\mu_1 p_{15}$	$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^6 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \alpha_2 \sum_{i=0}^4 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \frac{\alpha_2^2}{2} \sum_{i=0}^2 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \frac{\alpha_2^3}{6}; p_1 = \alpha_1 p_0;$ $p_2 = \alpha_2 p_0; p_3 = 0,5\alpha_1^2 p_0; p_4 = \alpha_1 \alpha_2 p_0; p_5 = 0,5\alpha_2^2 p_0;$ $p_6 = \alpha_1^3 p_0/6; p_7 = 0,5\alpha_1^2 \alpha_2 p_0; p_8 = 0,5\alpha_1 \alpha_2^2 p_0;$ $p_9 = \alpha_2^3 p_0/6; p_{10} = \alpha_1^4 p_0/24; p_{11} = \alpha_1^3 \alpha_2 p_0/6;$ $p_{12} = \alpha_1^2 \alpha_2^2 p_0/4; p_{13} = \alpha_1^5 p_0/120;$ $p_{14} = \alpha_1^2 \alpha_2 p_0/24; p_{15} = \alpha_1^6 p_0/6!;$ $p_{отк} = p_9 + p_{12} + p_{14} + p_{15} =$ $= \left(\frac{\alpha_2^3}{6} + \frac{\alpha_2^2}{2} \frac{\alpha_1^2}{2} + \alpha_2 \frac{\alpha_1^4}{24} + \frac{\alpha_1^6}{6!} \right) p_0;$ $p_{II} = p_1 + p_8 + p_{11} + p_{13} = \left[\frac{\alpha_2^3}{6} + \frac{\alpha_2^2}{2} \left(\alpha_1 + \frac{\alpha_1^2}{2} \right) + \right.$ $\left. + \alpha_2 \left(\frac{\alpha_1^3}{6} + \frac{\alpha_1^4}{24} \right) + \frac{\alpha_1^5}{5!} + \frac{\alpha_1^6}{6!} \right] p_0$	5
7	$0 = -(\lambda_1 + \lambda_2)p_0 + \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)p_1 + 2\mu_1 p_3 + \mu_2 p_4;$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)p_2 + \mu_1 p_4 + 2\mu_2 p_5;$ $0 = \lambda_1 p_1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 2\mu_1)p_3 + 3\mu_1 p_6 + \mu_2 p_7;$ $0 = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2 + \mu_1)p_4 + 2\mu_1 p_7 + 2\mu_2 p_8;$ $0 = \lambda_2 p_2 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 2\mu_2)p_5 + \mu_1 p_8 + 3\mu_2 p_9;$ $0 = \lambda_1 p_3 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 3\mu_1)p_6 + 4\mu_1 p_{10} + \mu_2 p_{11};$ $0 = \lambda_2 p_3 + \lambda_1 p_4 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2 + 2\mu_1)p_7 + 3\mu_1 p_{11} + 2\mu_2 p_{12};$ $0 = \lambda_2 p_4 + \lambda_1 p_5 - (\lambda_1 + 2\mu_2 + \mu_1)p_8 + 2\mu_1 p_{12};$ $0 = \lambda_2 p_5 - (\lambda_1 + 3\mu_2)p_9 + \mu_1 p_{13};$ $0 = \lambda_1 p_6 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 4\mu_1)p_{10} + 5\mu_1 p_{14} + \mu_2 p_{15};$ $0 = \lambda_2 p_6 + \lambda_1 p_7 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2 + 3\mu_1)p_{11} + 4\mu_1 p_{15} + 2\mu_2 p_{16};$ $0 = \lambda_2 p_7 + \lambda_1 p_8 - (\lambda_1 + 2\mu_2 + 2\mu_1)p_{12} + 3\mu_1 p_{16};$ $0 = \lambda_1 p_9 - \mu_1 p_{13};$ $0 = \lambda_1 p_{10} - (\lambda_1 + \lambda_2 + 5\mu_1)p_{14} + 6\mu_1 p_{17} + \mu_2 p_{18};$ $0 = \lambda_2 p_{10} + \lambda_1 p_{11} - (\lambda_1 + \mu_2 + 4\mu_1)p_{15} + 5\mu_1 p_{18};$ $0 = \lambda_2 p_{11} + \lambda_1 p_{12} - (2\mu_2 + 3\mu_1)p_{16};$ $0 = \lambda_1 p_{14} - (\lambda_1 + 6\mu_1)p_{17} + 7\mu_1 p_{19};$ $0 = \lambda_2 p_{14} + \lambda_1 p_{15} - (\mu_2 + 5\mu_1)p_{18};$ $0 = \lambda_1 p_{17} - 7\mu_1 p_{19}$	$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^7 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \alpha_2 \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \frac{\alpha_2^2}{2} \sum_{i=0}^3 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \frac{\alpha_2^3}{6} \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_1^i}{i!};$ $p_1 = \alpha_1 p_0; p_2 = \alpha_2 p_0; p_3 = 0,5\alpha_1^2 p_0; p_4 = \alpha_1 \alpha_2 p_0;$ $p_5 = 0,5\alpha_2^2 p_0; p_6 = \alpha_1^3 p_0/6; p_7 = 0,5\alpha_1^2 \alpha_2 p_0;$ $p_8 = 0,5\alpha_1 \alpha_2^2 p_0; p_9 = \alpha_2^3 p_0/6; p_{10} = \alpha_1^4 p_0/24;$ $p_{11} = \alpha_1^3 \alpha_2 p_0/6; p_{12} = \alpha_1^2 \alpha_2^2 p_0/4; p_{13} = \alpha_1 \alpha_2^3 p_0/6;$ $p_{14} = \alpha_1^5 p_0/5!; p_{15} = \alpha_1^4 \alpha_2 p_0/24; p_{16} = \alpha_1^3 \alpha_2^2 p_0/12;$ $p_{17} = \alpha_1^6 p_0/6!; p_{18} = \alpha_1^5 \alpha_2 p_0/5!; p_{19} = \alpha_1^7 p_0/7!;$ $p_{отк} = p_{13} + p_{16} + p_{18} + p_{19} =$ $= \left(\frac{\alpha_2^3}{6} \alpha_1 + \frac{\alpha_2^2}{2} \frac{\alpha_1^3}{6} + \alpha_2 \frac{\alpha_1^5}{120} + \frac{\alpha_1^7}{7!} \right) p_0;$ $p_{II} = p_1 + p_9 + p_{12} + p_{15} + p_{17} = \left[\frac{\alpha_2^3}{6} (1 + \alpha_1) + \right.$ $\left. + \frac{\alpha_2^2}{2} \left(\frac{\alpha_1^2}{2} + \frac{\alpha_1^3}{6} \right) + \alpha_2 \left(\frac{\alpha_1^4}{24} + \frac{\alpha_1^5}{5!} \right) + \frac{\alpha_1^6}{6!} + \frac{\alpha_1^7}{7!} \right] p_0$	6

решения задачи синтеза целесообразно построить номограммы с линиями равных значений n в координатах (α_1, α_2) . Это, в свою очередь, требует получения зависимостей $\alpha_2 = f(\alpha_1, n)$, которые в ходе исследований были найдены в виде полиномов:

$$\sum_{k=0}^{C(n/2)} A_k \alpha_2^k = 0, \quad (4)$$

где $\{A\}$ — коэффициенты, зависящие от приведенной нагрузки α_1 , числа КО n и вероятностей отказа в приеме заявки.

В табл. 2 приведены выражения для величин $\{A\}$ и порядка определения приведенной нагрузки α_2 .

Моделирование, проведенное с использованием выражений табл. 2, позволило построить номограммы для $p_{отк} = 0,1\%$ и $p_{II} = 0,5\%$ (рис. 1), которые можно использовать для решения задач синтеза СМО. Следует обратить внимание на то, что для нечетных значений n приведенная нагрузка α_2 может возрастать при увеличении α_1 . Это объясняется тем, что при большом относительном числе “двойных заявок” всегда может оставаться свободным хотя бы один КО (одно подразделение).

Пример 1. Известно, что для объекта приведенная нагрузка по заявкам, требующим привлечения одного КО, $\alpha_1 = 0,1$, двух КО — $\alpha_2 = 0,04$. Требуется

Таблица 2. Коэффициенты уравнения (4) для нахождения приведенной нагрузки α_2

n	$\{A\}$	Отказ в обслуживании вызова		Порядок нахождения α_2
		любого с вероятностью $p_{\text{отк}}$	двойного с вероятностью p_{II}	
2; 3	a_1	$\alpha_1^{n-2} - p_{\text{отк}} \Sigma_{n-2}$	$\Sigma_{n-2}(1 - p_{\text{II}})$	$\alpha_2 = -a_0/a_1$
	a_0	$\alpha_1^n/n! - p_{\text{отк}} \Sigma_n$	$\Sigma_n(1 - p_{\text{II}}) - \Sigma_{n-2}$	
4; 5	a_2	$(\alpha_1^{n-4} - p_{\text{отк}} \Sigma_{n-4})/2$	$\Sigma_{n-4}(1 - p_{\text{II}})/2$	$\alpha_2 = \frac{\sqrt{a_1^2 - 4a_0a_2} - a_1}{2a_2}$
	a_1	$\alpha_1^{n-2}/(n-2)! - p_{\text{отк}} \Sigma_{n-2}$	$\Sigma_{n-2}(1 - p_{\text{II}}) - \Sigma_{n-4}$	
	a_0	$\alpha_1^n/n! - p_{\text{отк}} \Sigma_n$	$\Sigma_n(1 - p_{\text{II}}) - \Sigma_{n-2}$	
6; 7	a_3	$(\alpha_1^{n-6} - p_{\text{отк}} \Sigma_{n-6})/6$	$\Sigma_{n-6}(1 - p_{\text{II}})/6$	Численное решение кубического уравнения с нахождением приемлемого корня α_2
	a_2	$[\alpha_1^{n-4}/(n-4)! - p_{\text{отк}} \Sigma_{n-4}]/2$	$[\Sigma_{n-4}(1 - p_{\text{II}}) - \Sigma_{n-6}]/2$	
	a_1	$\alpha_1^{n-2}/(n-2)! - p_{\text{отк}} \Sigma_{n-2}$	$\Sigma_{n-2}(1 - p_{\text{II}}) - \Sigma_{n-4}$	
	a_0	$\alpha_1^n/n! - p_{\text{отк}} \Sigma_n$	$\Sigma_n(1 - p_{\text{II}}) - \Sigma_{n-2}$	
n	a_j	$\frac{\alpha_1^{n-2j}}{(n-2j)!} - p_{\text{отк}} \Sigma_{n-2j}$	$\frac{\Sigma_{n-2j}(1 - p_{\text{II}}) - \Sigma_{n-2(j+1)}}{j!}$	Общие выражения, $j = 0, \dots, \zeta(n/2)$

Примечание. $\Sigma_{m>0} = \sum_{i=0}^{m>0} \frac{\alpha_i}{i!}$; $\Sigma_0 = 1$; $\Sigma_{m<0} = 0$.

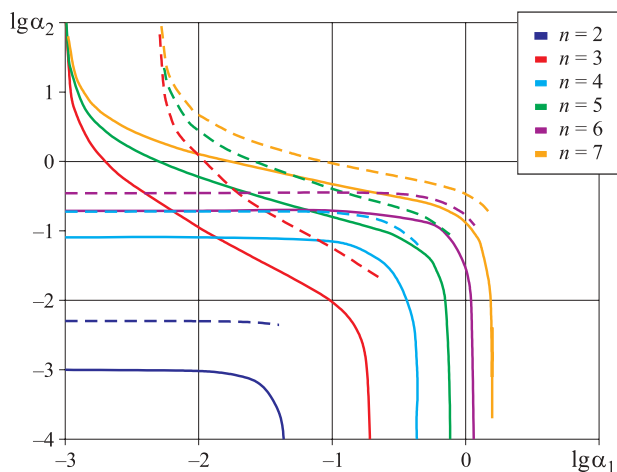


Рис. 1. Зависимость $\alpha_2 = f(\alpha_1)$ при различных значениях n :
 — — — $p_{\text{откл.доп}} = 0,001$; - - - $p_{\text{откл.доп}} = 0,005$

решить задачу синтеза — найти минимально необходимое число КО n , чтобы вероятность отказа в приеме и обслуживании любой заявки $p_{\text{отк}}$, а также вероятность отказа в приеме и обслуживании заявки, требующей привлечения сразу двух КО p_{II} , не превышала 0,001 (или 0,1 %).

Учитывая, что $\lg \alpha_1 = -1$, $\lg \alpha_2 = -1,398$, и воспользовавшись номограммами на рис. 1 и 2, находим, что условиям $p_{\text{отк}} \leq 0,1 \%$ и $p_{\text{п}} \leq 0,1 \%$ удовлетворяет только пятиканальная ($n = 5$) СМО. При этом условию $p_{\text{отк}} \leq 0,1 \%$ удовлетворяла бы и четырехканальная СМО.

Пример 2. Требуется решить задачу анализа — найти вероятности отказов в обслуживании $p_{\text{отк}}$ и $p_{\text{п}}$

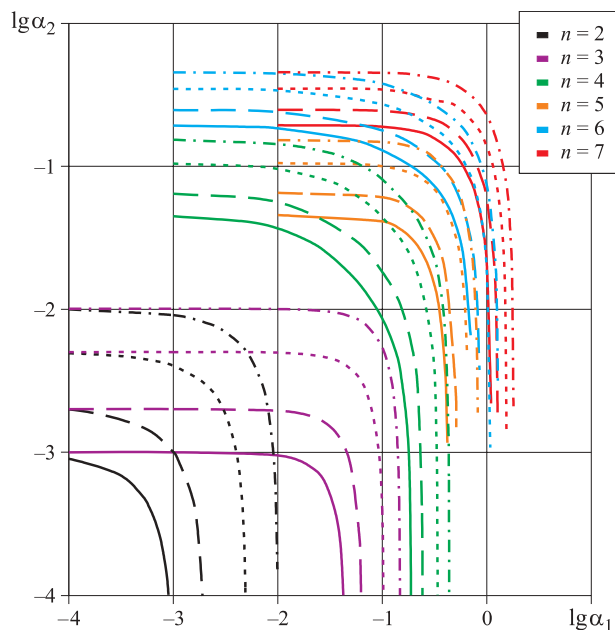


Рис. 2. Зависимость $\alpha_2 = f(\alpha_1)$ при обслуживании заявок, требующих привлечения двух каналов обслуживания, при различных значениях n и $p_{\text{отк. доп.}}$ равном 0,001 (—); 0,002 (— — —); 0,005 (----); 0,010 (- · -)

при $\alpha_1 = 0,1$, $\alpha_2 = 0,04$ и различном числе КО n и проверить тем самым правильность решения задачи синтеза, рассмотренной в примере 1.

С использованием аналитических выражений, приведенных в табл. 1, становится возможным рассчитать вероятности $\{p_{\text{отк}}, p_{\text{п}}, p_0\} = f(\alpha_1 = 0,1; \alpha_2 = 0,04; n)$ (табл. 3). Как следует из полученных значений вероятностей, действительно, условия

Таблица 3. Вероятности состояний $p_{отк}$, p_{II} и p_0 при раз-
личном числе КО

Пока- затель	Значение показателя, %, при n					
	2	3	4	5	6	7
$p_{отк}$	3,930	0,363	0,087	0,008	Около 0	Около 0
p_{II}	12,664	4,278	0,450	0,095	0,001	0,001
p_0	87,336	87,020	86,944	86,937	86,936	86,936

$p_{отк} \leq 0,1\%$ и $p_{II} \leq 0,1\%$ выполняются при $n = 5$. При этом вероятность того, что на объекте не будет возникать ситуаций, требующих привлечения пожарно-спасательных подразделений (т. е. все КО незаняты), достаточно высока — более 86 %.

Системы обслуживания заявок трех типов

В работе [1] приведены также математические выражения в виде систем уравнений, связывающих

вероятности состояний $\{p\}$ СМО с числом КО $n = 3 \dots 5$, куда поступают заявки трех типов с интенсивностями λ_1, λ_2 и λ_3 , которые обслуживаются в КО со скоростями (интенсивностями) μ_1, μ_2 и μ_3 соответственно.

В табл. 4 приведены уравнения, соответствующие графам переходов на рис. 7–9 [1] и явные аналитические решения для оценки вероятностей состояний $\{p\}$ данной СМО. Данные выражения также могут использоваться для решения задач анализа и синтеза.

Как и ранее, задача анализа решается нахождением вероятностей состояний СМО $\{p\}$ при известных значениях приведенных нагрузок $\alpha_i = \lambda_i / \mu_i$ ($i = 1, \dots, 3$) и числе КО n . При этом наиболее важным результатом является нахождение вероятностей отказов $p_{отк}$, p_{II} и p_{III} . Задача синтеза может решаться также путем нахождения минимально необходимого числа КО n при известных приведенных

Таблица 4. Выражения для оценки вероятностей состояний СМО с тремя типами заявок

n	Система уравнений	Аналитические решения	Номер рисунка в [1]
3	$0 = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_0 + \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2 + \mu_3 p_3;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)p_1 + 2\mu_1 p_4 + \mu_2 p_5;$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \mu_2)p_2 + \mu_1 p_5;$ $0 = \lambda_3 p_0 - \mu_3 p_3;$ $0 = \lambda_1 p_1 - (\lambda_1 + 2\mu_1)p_4 + 3\mu_1 p_6;$ $0 = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 - (\mu_2 + \mu_1)p_5;$ $0 = \lambda_1 p_4 - 3\mu_1 p_6$	$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^3 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \alpha_2 \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \alpha_3; p_1 = \alpha_1 p_0;$ $p_2 = \alpha_2 p_0; p_3 = \alpha_3 p_0; p_4 = 0,5\alpha_1^2 p_0;$ $p_5 = \alpha_1 \alpha_2 p_0; p_6 = p_0 \alpha_1^3 / 6; p_{отк} = p_3 + p_5 + p_6;$ $p_{II} = p_{отк} + p_2 + p_4; p_{III} = p_{II} + p_1$	7
4	$0 = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_0 + \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2 + \mu_3 p_3;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu_1)p_1 + 2\mu_1 p_4 + \mu_2 p_5 + \mu_3 p_6;$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)p_2 + \mu_1 p_5 + 2\mu_2 p_7;$ $0 = \lambda_3 p_0 - (\lambda_1 + \mu_3)p_3 + \mu_1 p_6;$ $0 = \lambda_1 p_1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 2\mu_1)p_4 + 3\mu_1 p_8 + \mu_2 p_9;$ $0 = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 - (\lambda_1 + \mu_2 + \mu_1)p_5 + 2\mu_1 p_9;$ $0 = \lambda_3 p_1 + \lambda_1 p_3 - (\mu_3 + \mu_1)p_6;$ $0 = \lambda_2 p_2 - 2\mu_2 p_7;$ $0 = \lambda_1 p_4 - (\lambda_1 + 3\mu_1)p_8 + 4\mu_1 p_{10};$ $0 = \lambda_2 p_4 + \lambda_1 p_5 - (2\mu_1 + \mu_2)p_9;$ $0 = \lambda_1 p_8 - 4\mu_1 p_{10}$	$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^4 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \alpha_2 \sum_{i=0}^2 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \frac{\alpha_2^2}{2} + \alpha_3 \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_1^i}{i!};$ $p_1 = \alpha_1 p_0; p_2 = \alpha_2 p_0; p_3 = \alpha_3 p_0; p_4 = 0,5\alpha_1^2 p_0;$ $p_5 = \alpha_1 \alpha_2 p_0; p_6 = \alpha_1 \alpha_3 p_0; p_7 = 0,5\alpha_2^2 p_0;$ $p_8 = p_0 \alpha_1^3 / 6; p_9 = 0,5\alpha_1^2 \alpha_2 p_0;$ $p_{10} = p_0 \alpha_1^4 / 24; p_{отк} = p_6 + p_7 + p_9 + p_{10};$ $p_{II} = p_{отк} + p_3 + p_5 + p_8; p_{III} = p_{II} + p_2 + p_4$	8
5	$0 = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)p_0 + \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2 + \mu_3 p_3;$ $0 = \lambda_1 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu_1)p_1 + 2\mu_1 p_4 + \mu_2 p_5 + \mu_3 p_7;$ $0 = \lambda_2 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \mu_2)p_2 + \mu_1 p_5 + 2\mu_2 p_6 + \mu_3 p_8;$ $0 = \lambda_3 p_0 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_3)p_3 + \mu_1 p_7 + \mu_2 p_8;$ $0 = \lambda_1 p_1 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + 2\mu_1)p_4 + 3\mu_1 p_9 + \mu_2 p_{10} + \mu_3 p_{12};$ $0 = \lambda_2 p_1 + \lambda_1 p_2 - (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2 + \mu_1)p_5 + 2\mu_1 p_{10} + 2\mu_2 p_{11};$ $0 = \lambda_2 p_2 - (\lambda_1 + 2\mu_2)p_6 + \mu_1 p_{11};$ $0 = \lambda_3 p_1 + \lambda_1 p_3 - (\lambda_1 + \mu_3 + \mu_1)p_7 + 2\mu_1 p_{12};$ $0 = \lambda_3 p_2 + \lambda_2 p_3 - (\mu_3 + \mu_2)p_8;$ $0 = \lambda_1 p_4 - (\lambda_1 + \lambda_2 + 3\mu_1)p_9 + 4\mu_1 p_{13} + \mu_2 p_{14};$ $0 = \lambda_2 p_4 + \lambda_1 p_5 - (\lambda_1 + \mu_2 + 2\mu_1)p_{10} + 3\mu_1 p_{14};$ $0 = \lambda_2 p_5 + \lambda_1 p_6 - (2\mu_2 + \mu_1)p_{11};$ $0 = \lambda_3 p_4 + \lambda_1 p_7 - (\mu_3 + 2\mu_1)p_{12};$ $0 = \lambda_1 p_9 - (\lambda_1 + 4\mu_1)p_{13} + 5\mu_1 p_{15};$ $0 = \lambda_2 p_9 + \lambda_1 p_{10} - (\mu_2 + 3\mu_1)p_{14};$ $0 = \lambda_1 p_{13} - 5\mu_1 p_{15}$	$p_0^{-1} = \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \alpha_2 \sum_{i=0}^3 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \frac{\alpha_2^2}{2} \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_1^i}{i!} +$ $+ \alpha_3 \sum_{i=0}^2 \frac{\alpha_1^i}{i!} + \alpha_2 \alpha_3; p_1 = \alpha_1 p_0;$ $p_2 = \alpha_2 p_0; p_3 = \alpha_3 p_0; p_4 = 0,5\alpha_1^2 p_0;$ $p_5 = \alpha_1 \alpha_2 p_0; p_6 = 0,5\alpha_2^2 p_0; p_7 = \alpha_1 \alpha_3 p_0;$ $p_8 = \alpha_2 \alpha_3 p_0; p_9 = p_0 \alpha_1^3 / 6; p_{10} = 0,5\alpha_1^2 \alpha_2 p_0;$ $p_{11} = 0,5\alpha_1 \alpha_2^2 p_0; p_{12} = 0,5\alpha_1^2 \alpha_3 p_0;$ $p_{13} = p_0 \alpha_1^4 / 24; p_{14} = p_0 \alpha_1^3 \alpha_2 / 6;$ $p_{15} = p_0 \alpha_1^5 / 120;$ $p_{отк} = p_8 + p_{11} + p_{12} + p_{14} + p_{15};$ $p_{II} = p_{отк} + p_6 + p_7 + p_{10} + p_{13};$ $p_{III} = p_{II} + p_3 + p_5 + p_9$	9

Таблица 5. Вероятности состояний $p_{отк}$, p_{II} , p_{III} и p_0 при различном числе КО

Показатель	Значение показателя при n		
	3	4	5
$p_{отк}$	0,0097	0,0015	0,00035
p_{II}	0,0486	0,0111	0,00182
p_{III}	0,1351	0,0500	0,01146
p_0	0,8649	0,8637	0,86350

нагрузках α_1 , α_2 , α_3 и заданных требованиях к вероятностям отказов $p_{отк}$, p_{II} и p_{III} . В отличие от случая СМО с двумя типами заявок, рассмотренного в предыдущем разделе, когда применялись номограммы (см. рис. 1 и 2), задача синтеза СМО с тремя типами заявок может решаться путем подбора необходимого числа КО n .

Пример 3. Известно, что для объекта приведенная нагрузка по заявкам, требующим привлечения одного КО, $\alpha_1 = 0,1$, одновременно двух КО —

$\alpha_2 = 0,04$, одновременно трех КО — $\alpha_3 = 0,007$. Требуется решить задачу анализа — найти вероятности отказов $p_{отк}$, p_{II} и p_{III} в приеме заявок соответствующих типов при различном числе КО n .

С использованием аналитических выражений, приведенных в табл. 4, становится возможным рассчитать вероятности $\{p_{отк}, p_{II}, p_{III}, p_0\} = f(\alpha_1 = 0,1; \alpha_2 = 0,04; \alpha_3 = 0,007; n)$ (табл. 5).

Выводы

Таким образом, получены аналитические выражения и номограммы для решения задач анализа и синтеза СМО с разнотипными заявками, требующими использования либо одного канала обслуживания, либо одного или одновременно двух каналов, либо одного, двух или трех каналов обслуживания. Решение указанных задач является важным применительно к автономным объектам, на которых могут возникать различного рода опасные ситуации, требующие привлечения, в частности, пожарно-спасательных подразделений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таранцев А. А., Холостов А. Л., Нодь А. П., Таранцев А. А. Моделирование достаточности мобильных подразделений экстренных служб при возникновении ситуаций повышенной сложности // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 10. — С. 59–66. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.59-66.
2. Иценко А. Д. Комплексная готовность персонала аварийно-спасательных формирований в условиях севера // Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктике, включая вопросы подготовки профильных кадров для работы в северных условиях : материалы международной конференции. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. — С. 86–98.
3. Алешков М. В., Безбородько М. Д. Применение мобильных средств пожаротушения для защиты объектов атомной энергетики от крупных пожаров в условиях экстремально низких температур // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 3. — С. 37–45.
4. Терехнев В. В., Семенов А. О., Тараканов Д. В. Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 14–17.
5. Аренс М., Брушлинский Н. Н., Вагнер П., Соколов С. В. Обстановка с пожарами в мире в начале XXI века // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 10. — С. 51–58. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.51-58.
6. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. World of Fire Statistics / Center of Fire Statistics of CTIF. — 2015. — No. 20. — 63 p.
7. Harald Herweg, Peter Wagner. Schnell wie die Feuerwehr // VFDB (Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes). — November 2013. — Heft 4. — P. 194–204.
8. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения. — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
9. Скопцов А. А. Организация управления оперативными подразделениями МЧС при тушении пожаров : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — СПб., 2004. — 22 с.
10. Makhutov N. A., Moskvichev V. V., Fomin V. M. Designing machinery for the Arctic: A problem of socioeconomic development of Russia's eastern regions // Herald of the Russian Academy of Sciences. — 2015. — Vol. 85, No. 1 — P. 79–86. DOI: 10.1134/s1019331615010104.
11. Абдурагимов Г. И. Теоретические основы совершенствования управления оперативными службами мегаполисов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М., 2000. — 33 с.
12. Алешков М. В. Особенности тушения крупных пожаров на территории Российской Федерации при внешнем воздействии опасных природных явлений // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 59–64.

13. *Вентцель Е. С.* Исследование операций. — М. : Советское радио, 1972. — 552 с.
14. *Таранцев А. А.* Инженерные методы теории массового обслуживания. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — СПб. : Наука, 2007. — 175 с.
15. *Таранцев А. А.* О способе выбора параметров систем массового обслуживания с очередью // Автоматика и телемеханика. — 1999. — Т. 60, № 7. — С. 172–176.

Материал поступил в редакцию 11 января 2017 г.

Для цитирования: *Таранцев А. А., Холостов А. Л., Ищенко А. Д., Потапенко В. В.* О задачах анализа и синтеза систем обслуживания заявок нескольких типов // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 3. — С. 31–38. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.31-38.

English

PROBLEMS OF ANALYSIS AND SYNTHESIS OF APPLICATION SERVICE SYSTEMS OF SEVERAL TYPES

TARANTSEV A. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Organisation of Fire Suppression and Rescue Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation); Head of Laboratory of Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences (12-ya Line VO, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation; e-mail: t_54@mail.ru)

KHOLOSTOV A. L., Doctor of Technical Sciences, Deputy Head of the Department of Electrical Engineering, Automated Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: holostov@mail.ru)

ISHCHENKO A. D., Candidate of Technical Sciences, Head of Fire Fighting Science and Training Centre Fire Fighting Service, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: adinko@mail.ru)

POTAPENKO V. V., Candidate of Technical Sciences, Head of Fire Safety Department, Military Academy of Logistics Support named after General A. V. Hrulev (Zakharyevskaya St., 22, Saint Petersburg, 191123, Russian Federation; e-mail: pww@mail.ru)

ABSTRACT

The problems of analysis and synthesis of the response system to emergency situations in difficult cases are shown here. The response system is considered as a queuing system of applications of several types requiring the use of one, two or more channels (for example mobile fire-rescue units, ambulance brigades, police and medical care). The relevance of this problem is caused by the presence of autonomous objects in an environment where the number of mobile emergency response units of the system is limited.

The analysis problem is formulated as finding the probability of system failure in the reception of applications (of the 1st type p_I , the 2nd type p_{II} and 3rd type p_{III}) for a given number of service channels n , when the intensities $\{\lambda\}$ and $\{\mu\}$ are known, which are the parameters of exponential distribution laws. The synthesis problem is formulated as finding the required number of service channels n under certain intensities $\{\lambda\}$ and $\{\mu\}$ and set limits on allowable probability of failure p_I – p_{III} .

Analytical expressions for the probabilities of system states through the given loads are obtained for the two types of applications of the service system $\alpha_1 = \lambda_1/\mu_1$ and $\alpha_2 = \lambda_2/\mu_2$, presented in table form. The general expressions for the probability of unoccupied n channels are also obtained — p_0 and failure probability — p_I and p_{II} , which can be used for analysis of n -channel queuing system of this type. The nomogram with lines of equal values of n in the coordinates is encouraged to use to solve the problem of synthesis of these systems (α_1, α_2). For this purpose the dependences $\alpha_2 = f(\alpha_1, n)$ are obtained, and they are found in the form of polynomials, whose coefficients depend on the given

load α_1 , the number of service channels n and the probability of failure in the admission of an application. Formula to determine these coefficients and to determine the given load α_2 is obtained. It was found that the two types of applications service system for odd values of n at least one service channel may always remain free.

Analytical solutions for the evaluation of the probability of states of this queuing system are obtained for the application service system of three types.

The examples show the possibility of solving problems of analysis and synthesis of queuing systems with heterogeneous applications using nomograms. This study is a logical continuation of the previously published article "Modeling of sufficiency of the mobile emergency units in case of situations of high complexity.

Keywords: danger situations; mobile units; emergency services; queuing system; probability of failure.

REFERENCES

1. Tarantsev A. A., Kholostov A. L., Nod A. P., Tarantsev A. A. Modeling of sufficiency of the mobile emergency units in case of situations of high complexity. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 10, pp. 59–66 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.59-66.
2. Ishchenko A. D. Integrated preparedness of SAR personnel for operations in the northern areas. In: *Proceedings of International Conference "Challenges in Emergency Preparedness and Response in the Arctic. Staffing Issues"*. Saint Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2014, pp. 86–98 (in Russian).
3. Aleshkov M. V., Bezborodko M. D. Application of movable fire extinguishment means for protecting nuclear power plants from large fires under extremely low temperature conditions. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya (Fire and Emergencies: Prevention, Elimination)*, 2014, no. 3, pp. 37–45 (in Russian).
4. Terebnev V. V., Semenov A. O., Tarakanov D. V. Decision making theoretical basis of management of fire. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 14–17 (in Russian).
5. Ahrens M., Brushlinskiy N. N., Wagner P., Sokolov S. V. Situations with the fires on the earth at the beginning of the XXI century. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 10, pp. 51–58 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.51-58.
6. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. *World Fire Statistics. Center of Fire Statistics of CTIF*, 2015, no. 20. 63 p.
7. Harald Herweg, Peter Wagner. Schnell wie die Feuerwehr. *VFDB (Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes)*, November 2013, heft 4, pp. 194–204.
8. *Set of rules 11.13130.2009. Location of fire service divisions. Procedure and methods of determination*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
9. Skoptsov A. A. *Organization management operational units Emergency Situations Ministry in fire-fighting. Abstr. cand. tech. sci. diss.* Saint Petersburg, 2004. 22 p. (in Russian).
10. Makhutov N. A., Moskvichev V. V., Fomin V. M. Designing machinery for the Arctic: A problem of socioeconomic development of Russia's eastern regions. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2015, vol. 85, no. 1, pp. 79–86. DOI: 10.1134/s1019331615010104.
11. Abduragimov G. I. *Theoretical bases of perfection of management of the operational services of megacities. Abstr. dr. tech. sci. diss.* Moscow, 2000. 33 p. (in Russian).
12. Aleshkov M. V. Peculiarities of extinguishing large-scale fires on the territory on the Russian Federation under the external effect of hazardous natural phenomena. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 59–64 (in Russian).
13. Ventsel E. S. *Operations research*. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1972. 552 p. (in Russian).
14. Tarantsev A. A. *Engineering methods of theory of mass service*. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2007. 175 p. (in Russian).
15. Tarantsev A. A. On a method for choosing the service parameters in queuing systems. *Avtomatika i telemekhanika (Automation and Remote Control)*, 1999, vol. 60, no. 7. pp. 172–176 (in Russian).

For citation: Tarantsev A. A., Kholostov A. L., Ishchenko A. D., Potapenko V. V. Problems of analysis and synthesis of application service systems of several types. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 31–38. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.31-38.

В. И. ЗЫКОВ, д-р техн. наук, профессор, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, профессор кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: zikov01@mail.ru)

Ю. А. ПОЛЯКОВ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: polyakov-1930@mail.ru)

В. И. ФОМИН, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной автоматики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: kafedra-pa@yandex.ru)

УДК 614.844.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПЛЕНОЧНОГО ТЕРМОСЕНСОРА В СИСТЕМАХ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Освещены вопросы применения тонкопленочных термометров сопротивления в качестве первичных быстродействующих сигнализаторов в системах пожарной сигнализации. Представлены результаты экспериментального определения быстродействия пленочного термосенсора. Предложен оптический стенд с модулятором высокой скорости. В результате сравнительных опытов установлена высокая разрешающая способность пленочного термосенсора и фотодиода и практически полное совпадение их откликов по времени. Показано, что пленочные термосенсоры с временным откликом менее 1 мкс способны выполнять функцию сверхраннего обнаружения пожара или взрыва на различных потенциально опасных объектах.

Ключевые слова: пленочный термосенсор; быстродействие; оптический стенд; модулятор; фотодиод; пожарная сигнализация; пожаровзрывобезопасность.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.39-44

Применение тонкопленочных термометров сопротивления в качестве первичных быстродействующих сигнализаторов противопожарной и аварийной автоматики открывает большие возможности для разработки многоканальных систем на основе технологии микроэлектроники [1].

Тонкопленочные термосенсоры на массивной матрице (подложке) сочетают в себе функции порогового датчика и измерительного преобразователя, функционирующего в режиме тепlopеленгатора. Выполняя функции порогового датчика, тонкопленочный термосенсор является, по сути, датчиком времени (сигнальным сенсором), который в качестве тревожной информации использует скачкообразное изменение температуры контрольной поверхности или теплового потока [2, 3]. В качестве тепlopеленгатора динамики быстропротекающих процессов пленочные термосенсоры позволяют, помимо обнаружения факта наличия «аварийной» ситуации (пожар-вспышка, фронт горения, ударная волна, детонация, начало взрывной реакции горючей смеси и т. д.), осуществлять мониторинг технологического режима, определять степень опасности и динамику развития аномального процесса, отслеживать тепловое

состояние технических объектов и окружающей среды.

Применение тонкопленочных термосенсоров с быстродействием на уровне 10^{-6} с дает возможность создать системы пожарной сигнализации практически с мгновенным отключением систем питания любого устройства и одновременным включением системы подавления возгорания или взрыва [4].

Конструктивно термосенсор представляет собой тонкопленочный термометр сопротивления, изготовленный обычно из платины толщиной менее 0,1 мкм и сформированный на массивной диэлектрической матрице (подложке) из ситалла или стекла марки С90-1 (рис. 1). В зависимости от функциональных



Рис. 1. Внешний вид пленочного термосенсора в корпусе

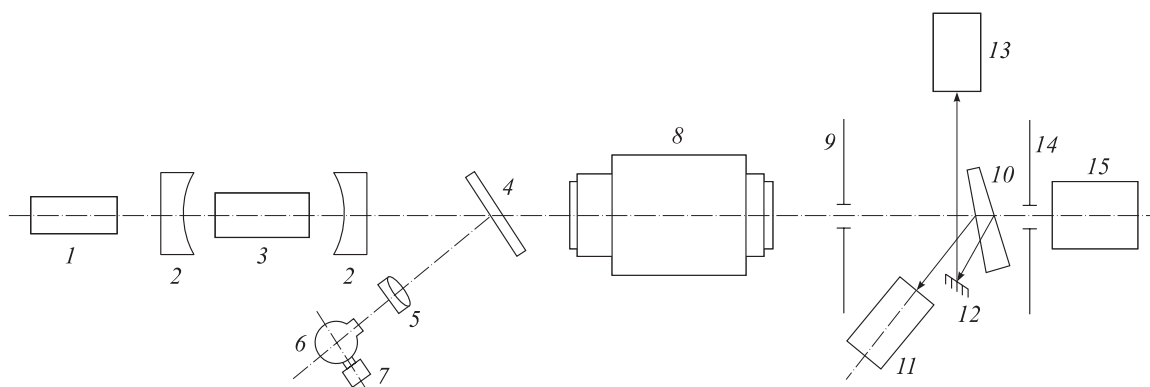


Рис. 2. Блок-схема измерительного оптического стенда: 1 — юстировочный лазер ЛГ-55; 2 — резонатор в выносных держателях; 3 — ОКГ ГОС-30М; 4 — пластина; 5 — линза; 6 — светомерный шар; 7 — фотодиод ФД9Э111А; 8 — вакуумный модулятор; 9 — диафрагма; 10 — клин; 11 — калориметр; 12 — зеркало; 13 — фотодатчик; 14 — калиброванное отверстие; 15 — тонкопленочный термосенсор

задач на чувствительную пленку наносится тонкое защитное покрытие из диоксида кремния толщиной 0,2–0,3 мкм или слой зачернения из платины или висмута.

Экспериментальные исследования динамических характеристик пленочных термосенсоров проводились на оптическом стенде, созданном на базе оптического квантового генератора (ОКГ) типа ГОС-30М, имеющего длину волны излучения 1,06 мкм. Специальный вакуумный модулятор обеспечивал получение прямоугольных импульсов облучения с фронтом порядка 10^{-6} с и длительностью от 50 до 110 мкс. В качестве модулирующего элемента был использован вращающийся металлический диск с щелью, пропускающей только часть импульса генерации [5–7].

Для подавления механических колебаний оптической скамьи при высоких скоростях вращения в свободной атмосфере в модуляторе был применен мотор типа ДИД-2ТА, работающий в форсированном режиме при $p = 1$ мм рт. ст. Это позволило получить линейную скорость диска на уровне оптической оси порядка $1,8 \cdot 10^3$ м/с. Запуск генератора осуществлялся от фотодиода, с которого снимался импульс во время его прохождения через щель шириной порядка 1 мм во вращающемся диске.

Разработанная схема синхронизации процесса обеспечивала строгое повторение импульсов с передними фронтами не более $2 \cdot 10^{-6}$ с. Вся система генерации отрабатывалась на стабильность и идентичность повторяемости серии последовательных импульсов от опыта к опыту. В результате удалось добиться весьма строгого повторения импульсов как по длительности, так и по амплитуде. Эти мероприятия повышали достоверность получаемой информации при исследовании динамических свойств пленочных термосенсоров быстрого реагирования.

Блок-схема измерительного стенда с использованием оптического квантового генератора и вакуумного модулятора представлена на рис. 2. В состав блок-схемы входят: лазер типа ЛГ-55, резонатор в выносных держателях, оптический квантовый генератор типа ГОС-30М, светомерный шар, вакуумный модулятор, калориметр и тонкопленочный термосенсор.

За клином 10 размещалась диафрагма с калиброванным отверстием 14 диаметром $d = (3,89 \pm 0,01)$ мм и площадью $S = 11,88$ мм². Это позволило максимально уменьшить влияние неравномерности поля облучения лазером.

На рис. 3 представлена временная последовательность образования прямоугольного импульса

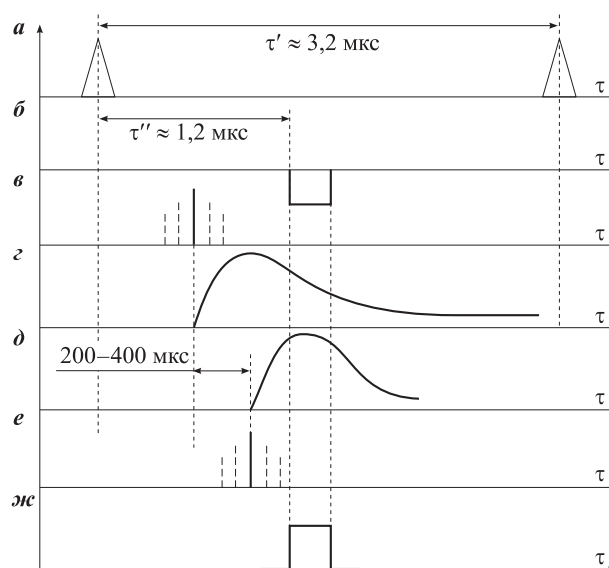


Рис. 3. Временная последовательность образования прямоугольного импульса излучения: а — импульсы фотодиода модулятора; б — время подхода выреза диска; в — импульсы на запуск ГОС-30М; г — импульсы накачки; д — импульсы генерации; е — импульсы запуска осциллографа; жс — вырезанный импульс

излучения, начиная с периодически действующих импульсов фотодиода модулятора. Электронная система модулятора давала возможность изменять как длительность вырезаемого прямоугольного импульса, так и его амплитуду.

Регистрация сигнала термосенсора проводилась на экране двухлучевого осциллографа, на второй луч которого одновременно подавался импульс с фотодиода типа ФД9Э111А. Учитывая, что быстродействие фотодатчика составляет 10^{-8} с, его сигнал принимали за базовый, относительно которого оценивали быстродействие и тепловое запаздывание термосенсора.

Для того чтобы обеспечить поверхностное поглощение радиации при облучении образцов импульсом света на длине волны $\lambda = 1,06$ мкм, термосенсоры с покрытием или изоляцией запечатывались с приемной стороны сверхтонким слоем металла (алюминий) толщиной около 0,04 мкм [6, 7]. Малая глубина скин-слоя в алюминии должна исключить объемное поглощение радиации в покрытии.

Глубина скин-слоя в соответствии с формулой нормального скин-эффекта при данной длине волны падающего электромагнитного излучения составляет 0,03 мкм. При проведении прямого эксперимента на фотодиод наносилась платиновая пленка толщиной около 40 нм, после чего он облучался импульсом когерентного света с длиной волны 1,06 мкм. В ходе эксперимента сигнал от фотодиода, экранированного тонкой пленкой платины, не наблюдался.

Следовательно, поскольку диссипация энергии излучения, обусловленная процессами преобразования энергии в тепло, происходит в слое экранирующей пленки толщиной менее 30 нм, а времена релаксации электромагнитной энергии в металле лежат в пределах 10^{-10} – 10^{-11} с, можно считать, что внутри скин-слоя превращение энергии облучения в тепло происходит практически мгновенно.

Оценка разрешающей способности тонкопленочного термосенсора может быть выполнена путем сравнения хронологии термограмм с высокочастотными пульсациями излучения оптического квантового генератора, регистрируемыми фотодиодом внутри выделяемого модулятором импульса. Отмечено, что пленочный термосенсор фиксирует тонкую структуру флуктуаций излучения [8–10].

Привязка к общему началу взаимодействия и привлечение более коротких разверток позволили обнаружить почти полное совпадение по времени откликов термосенсора и фотодиода. Так, на рис. 4 представлены импульсы фотодиода и пленочного термосенсора, вырезанные модулятором (при длительности строба 78 мкс). Отсюда можно установить, что быстродействие пленочного термосенсора составляет, по крайней мере, не более 2 мкс

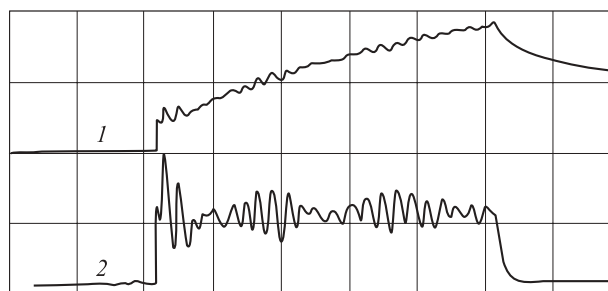


Рис. 4. Импульсы фотодиода и пленочного термосенсора, вырезанные модулятором (длительность строба 78 мкс): 1 — сигнал термосенсора; 2 — сигнал фотодиода

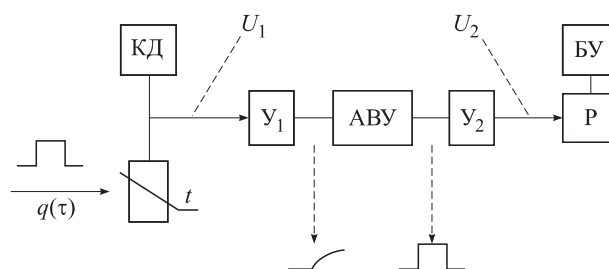


Рис. 5. Структурная схема преобразования импульса температуры термосенсора в тепловой поток: КД — блок коррекции датчика; БУ — блок управления; Р — регистратор (осциллограф); Y_1 , Y_2 — усилители; U_1 , U_2 — точки измерения напряжения; $q(\tau)$ — тепловой поток

(см. рис. 4, начальные выбеги фотодиода и термосенсора).

Чувствительный элемент термосенсора синхронно с фотодиодом отображает пиковую структуру излучения. Практически полное совпадение фронтов датчиков говорит о высокой разрешающей способности термосенсора.

Оценка теплового запаздывания проводилась с применением быстродействующего аналого-вычислительного устройства (АВУ), обеспечивающего преобразование импульса температуры термосенсора в сигнал, пропорциональный воспринимаемому тепловому потоку.

Структурная схема преобразования импульса температуры термосенсора в тепловой поток с использованием АВУ представлена на рис. 5.

Сигнал с термосенсора, облучаемого лазерным импульсом, усиливался и подавался на вход АВУ, который преобразовывал температурный импульс в тепловой поток. После преобразования регистрация временного характера плотности потока энергии проводилась с помощью регистратора (двухлучевого осциллографа). Одновременно на второй луч осциллографа подавался сигнал с фотодиода типа ФД9Э111А (рис. 6).

Быстродействие термосенсора вместе с аналоговым преобразователем, как видно из осциллограммы, составляет единицы микросекунд. При этом ампли-

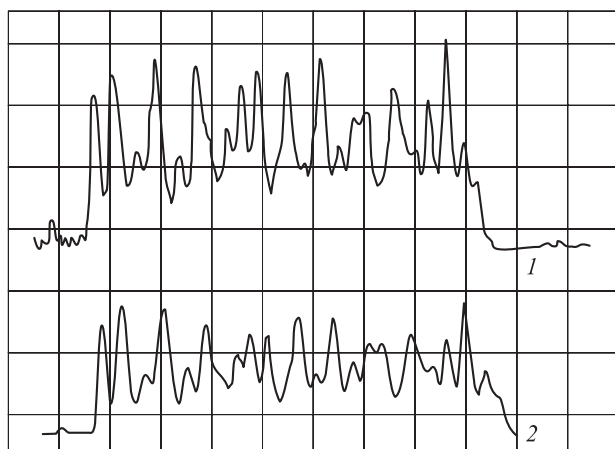


Рис. 6. Осциллограммы импульсов термосенсора (1) и фотодиода ФД9Э111А (2) (длительность импульса 78 мкс)

тудно-фазовые частотные характеристики измерительного канала практически не искажаются.

Таким образом, можно сделать однозначный вывод, что пленочные термосенсоры с временным откликом менее 1 мкс вполне способны выполнять пожаровзрывопредупредительную функцию сигнализатора аварийной ситуации на различных потенциально опасных объектах.

Областью применения тонкопленочных термосенсоров являются потенциально опасные объекты энергетического, транспортного и химико-технологического назначения, где нештатные процессы могут привести к аварийной ситуации.

Выполняя функции пороговых быстродействующих сигнализаторов, тонкопленочные термосенсоры могут служить индикаторами фронта горения, воспламенения горючих смесей, ударных волн и детонационных явлений, взрывного самовоспламенения при эндогенных пожарах, а также выступать как малоинерционные извещатели при внезапном повышении уровня теплового потока в камерах сгорания и в различных технологических процессах.

Очевидным является теоретическое, метрологическое и технологическое обеспечение этого класса пожаровзрывосигнализаторов. Для разработки нормативных документов должны быть созданы общая теория проектирования тонкопленочных термосенсоров и комплекс руководящих материалов для разработчиков, изготовителей и потребителей таких термосенсоров и систем пожаровзрывобезопасности на их основе.

Применение тонкопленочных термометров сопротивления в качестве первичных быстродействующих сигнализаторов можно будет использовать в системах радиоканального мониторинга пожаровзрывобезопасности на потенциально опасных объектах [11, 12]. При этом будет обеспечена возможность передачи тревожных сообщений непосредственно диспетчеру пожарно-спасательной части, что позволит оперативно принимать решение о высылке сил и средств непосредственно на место пожара или взрыва [13, 14].

Выводы

1. Сравнительные опыты, проведенные с пленочным термосенсором и фотодиодом, показали их высокую разрешающую способность и практически полное совпадение по времени их откликов.

2. Пленочные термосенсоры с временным откликом менее 1 мкс способны выполнять функцию сверхраннего обнаружения пожара или взрыва на различных потенциально опасных объектах.

3. Системы раннего обнаружения пожара или взрыва позволят радикально изменить существующую в стране ситуацию по защите людей и объектов от огня и аварий.

Авторы статьи выражают свою благодарность инженеру В. И. Сафронову, принимавшему активное участие в разработке оптического стенда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новицкий Л. А., Степанов Б. М. Фотометрия быстропротекающих процессов : справочник. — М. : Машиностроение, 1983. — 296 с.
2. Жучков В. В., Пузач С. В., Поляков Ю. А. Детектирующая способность пленочных термосенсоров пожарного назначения // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2013. — Вып. 2(48). — 5 с. URL: <http://academygps.ru/img/UNK/asit/ttb/2013-2/27-02-13.ttb.pdf> (дата обращения: 09.01.2017).
3. Федоров А. В., Буцынская Т. А. Раннее обнаружение пожара техническими средствами пожарной сигнализации // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2009. — Вып. 1(23). — 5 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-1/05-01-09.ttb.pdf> (дата обращения: 09.01.2017).
4. Deming J. L., Weber J. H., Tao L. C. Ignition of exothermic solid-phase reactions by a laser pulse // Combustion and Flame. — 1970. — Vol. 14, No. 3. — P. 375–380. DOI: 10.1016/s0010-2180(70)80051-7.
5. Углов А. А., Смуров И. Ю. Моделирование теплофизических процессов импульсного лазерного воздействия на металлы. — М. : Наука, 1991. — 278 с.
6. Harrach R. J. Estimates of the ignition of high-explosives by laser pulses // Journal of Applied Physics. — 1976. — Vol. 47, No. 6. — P. 2473–2482. DOI: 10.1063/1.322961.

7. Хирд Г. Измерение лазерных параметров / Пер. с англ. — М. : Мир, 1970. — 540 с.
8. Коньков А. А. Вихревая механика и физическая газодинамика. — М. : Изд-во “Альтаир”, 2004. — 205 с.
9. Симиу Э. Хаотические переходы в детерминированных и стохастических системах / Пер. с англ. — М. : Физматлит, 2007. — 208 р.
10. Вертячих И. М., Волков Ю. А., Жукалов В. И. О возможности применения термочувствительного элемента на основе активных полимерных материалов в аналоговом тепловом пожарном извещателе // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2015. — № 1. — С. 35–40.
11. Поляков Ю. А. Анализ быстродействия пленочного термосенсора пожарного назначения // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2016. — Вып. 1(65). — 9 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/09-01-16.ttb.pdf> (дата обращения: 09.01.2017).
12. Шаровар Ф. И. О технологиях гарантированного предотвращения пожаров // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2015. — Вып. 5(63). — 8 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-5/21-05-15.ttb.pdf> (дата обращения: 09.01.2017).
13. Зыков В. И., Кокишин В. В., Кривошонов В. В. История создания и совершенствования беспроводных систем мониторинга : монография / Под общ. ред. В. И. Зыкова. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. — 160 с.
14. Yoshikawa Noriaki, Nomura Taku. On the design of a small zone land mobile radio system in UHF band // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 1976. — Vol. 25, No. 3. — P. 57–67. DOI: 10.1109/t-vt.1976.23620.

Материал поступил в редакцию 25 января 2017 г.

Для цитирования: Зыков В. И., Поляков Ю. А., Фомин В. И. Экспериментальное определение быстродействия пленочного термосенсора в системах пожарной сигнализации // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 3. — С. 39–44. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.39-44.

English

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PERFORMANCE OF PLANETMASTER IN FIRE ALARM SYSTEMS

ZYKOV V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the Russian Government in the Field of Science and Technology, Professor of Department of Electrical Engineering Automation and Communications Systems, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: zykov01@mail.ru)

POLYAKOV Yu. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the Russian Government in the Field of Science and Technology, Professor of Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: polyakov-1930@mail.ru)

FOMIN V. I., Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Fire Automatics Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: kafedra-pa@yandex.ru)

ABSTRACT

An early detection and rapid transmission of the message about a fire plays an important role in reducing the severity of the consequences from fires, which ensures the timely adoption of measures for its liquidation. Thus, the purpose of this article is to review issues of applying thin-film resistance thermometers as the primary high-speed detectors in fire alarm systems. This opens up great opportunities for the development of multiband systems based on microelectronics technology.

Thin film thermosensors on a massive substrate combine the functions of a threshold sensor as well as a measuring transmitter operating in the thermal finder mode. As a threshold sensor, the thin-film thermosensor is, in fact, a time sensor (signal sensor) when the abrupt change in the temperature of the control surface or the heat flow is used as the alarm information. As the thermal finder of fast processes, film thermosensors allow, in addition to detection of existence of “emergency” situations

(fire-flash, the combustion front, shock wave, detonation, the beginning of explosive reaction of gas mixture, etc.), to monitor process conditions, to determine the degree of risk and the dynamics of the anomalous process, to monitor the thermal state of technical objects and the environment.

The results of the conducted field tests using a specially designed optical stand allowed us to make an unambiguous conclusion about that film thermosensors, with a time response less than one microsecond, can perform the function of a very early detection of fire or explosion on various potentially dangerous objects.

Thus, the use of film thermosensors in radio systems for early detection of fire and other emergencies, will allow radically change the existing situation for the protection of people and objects from fire and accidents.

Keywords: film thermosensor; fast acting; optical stand; modulator; photodiode; fire alarm; fire and explosion safety.

REFERENCES

1. Novitskiy L. A., Stepanov B. M. *Photometry of fast processes. Reference guide*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1983. 296 p. (in Russian).
2. Zhuchkov V. V., Puzach S. V., Polyakov Yu. A. The detection capacity of film thermosensors of fire the purpose. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal (Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal)*, 2013, issue 2(48). 5 p. (in Russian). Available at: <http://academygps.ru/img/UNK/asi/ttb/2013-2/27-02-13.ttb.pdf> (Accessed 9 January 2017).
3. Fedorov A. V., Butcinskaya T. A. Early detection of a fire by means of the fire alarm system. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal (Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal)*, 2009, issue 1(23). 5 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-1/05-01-09.ttb.pdf> (Accessed 9 January 2017).
4. Deming J. L., Weber J. H., Tao L. C. Ignition of exothermic solid-phase reactions by a laser pulse. *Combustion and Flame*, 1970, vol. 14, no. 3, pp. 375–380. DOI: 10.1016/s0010-2180(70)80051-7.
5. Uglov A. A., Smurov I. Yu. *Simulation of thermal processes of pulsed laser action on metals*. Moscow, Nauka Publ., 1991. 278 p. (in Russian).
6. Harrach R. J. Estimates of the ignition of high-explosives by laser pulses. *Journal of Applied Physics*, 1976, vol. 47, no. 6, pp. 2473–2482. DOI: 10.1063/1.322961.
7. Heard H. G. *Laser parameter measurements handbook*. New York–London–Sydney, John Wiley & Sons, Inc., 1968 (Russ. ed.: Khird G. Izmereniye lazernykh parametrov. Moscow, Mir Publ., 1970. 540 p.).
8. Konkov A. A. *Vortex mechanics and physical gasdynamics*. Moscow, Publishing house Altair, 2004. 205 p. (in Russian).
9. Simiu E. *Chaotic transitions in deterministic and stochastic dynamical systems*. Princeton, Princeton University Press, 2002. 240 p. DOI: 10.1515/9781400832507.
10. Vertyachikh I. M., Volkov Yu. A., Zhukalov V. I. On the possibility of applying temperature sensitive bulbs based upon the active polymer materials in the analog heat detector. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya (Fire and Emergencies: Prevention, Elimination)*, 2015, no. 1, pp. 35–40 (in Russian).
11. Polyakov Yu. A. The analysis of fast-acting of film thermosensor fire purpose. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal (Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal)*, 2016, issue 1(65). 9 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/09-01-16.ttb.pdf> (Accessed 9 January 2017).
12. Sharovar F. I. About technologies of guaranteed prevent fires. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal (Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal)*, 2015, issue 5(63). 8 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-5/21-05-15.ttb.pdf> (Accessed 9 January 2017).
13. Zikov V. I. (ed.), Kokshin V. V., Krivosheonok V. V. *The history of the development of wireless monitoring systems. Monograph*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2016. 160 p. (in Russian).
14. Yoshikawa Noriaki, Nomura Takuya. On the design of a small zone land mobile radio system in UHF band. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1976, vol. 25, no. 3, pp. 57–67. DOI: 10.1109/t-vt.1976.23620.

For citation: Zikov V. I., Polyakov Yu. A., Fomin V. I. Experimental determination of performance of planetmaster in fire alarm systems. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 39–44. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.39-44.

В. И. ГЕРГЕЛЬ, канд. техн. наук, генеральный директор ООО “Простор”
(Россия, 141292, Московская обл., г. Красноармейск, ул. Академика Янгеля, 23, стр. 15)

Е. А. МЕШАЛКИН, д-р техн. наук, профессор, директор ООО “Пульс-Пожстрой Инжиниринг” (Россия, 107113, г. Москва, ул. Маленковская, 32, стр. 3; e-mail: Meshalkin@npropuls.ru)

УДК 614.844.2

ПОЖАРОТУШЕНИЕ ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Отмечено, что внедрение высокоэффективных систем пожаротушения тонкораспыленной водой высокого давления (ТРВ ВД) ограничено из-за отсутствия базы нормативных документов, регламентирующих их проектирование и применение. Даны сравнительные оценки традиционных систем пожаротушения ТРВ низкого давления (НД) и систем с использованием ТРВ ВД. Показана более высокая эффективность систем пожаротушения ТРВ ВД по сравнению с традиционными. Отмечены преимущества использования систем пожаротушения ТРВ ВД, в частности водяного тумана. Приведены области, где применение этих систем наиболее эффективно. Указано, что системы с ТРВ ВД правильнее рассматривать в качестве средства объемного или локально-объемного пожаротушения.

Ключевые слова: пожаротушение; тонкораспыленная вода высокого давления; тонкораспыленная вода низкого давления; водяной туман; эффективность систем пожаротушения.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.45-49

Разработки технологий и систем пожаротушения тонкораспыленной водой высокого давления (ТРВ ВД), как стационарных, так и мобильных, насчитывают более 25 лет. Установки, реализующие эти технологии, вызывают неизменный интерес на выставках, однако масштабы их практического применения весьма ограничены. Связано это, на наш взгляд, с недостаточной детализацией требований СП 5.13130.2009 (далее — СП 5) [1] в части разделов 5.4 (по АУП ТРВ) и 5.5 (АУП с принудительным пуском), касающихся необходимости разработки специальных технических условий (СТУ) для их проектирования на конкретном защищаемом объекте (п. 5.4.4 [1]), и отсутствием обоснований по функциональной и экономической эффективности АУП ТРВ ВД по сравнению с традиционными спринклерными АУП. Несмотря на то что специалистами ВНИИПО уже разработан проект изменений в СП 5, где упомянутые разделы заметно расширены, утверждения он пока не получил.

Из сложившейся ситуации каждый разработчик выходит по-своему. Так, например, в 2004 г. ООО “Простор” разработал и начал выпускать мобильные установки с использованием тонкораспыленной воды высокого давления УПТВ “Простор” (рис. 1). Для этого была создана научно-экспериментальная база, разработаны уникальные пожарные стволы и форсунки, система популяризации и продвижения этих разработок. Новые пожарные стволы и форсунки позволяли организовать заброс высокоскоростной тонкораспыленной воды в зону горения с расстояния 15–20 м. Казалось бы, эффективность и прогрессивность технологии пожаротушения ТРВ ВД очевидна, однако до сих пор она тиражируется преимущественно в виде мобильных и передвижных агрегатов, причем явно в недостаточном объеме.

стной тонкораспыленной воды в зону горения с расстояния 15–20 м. Казалось бы, эффективность и прогрессивность технологии пожаротушения ТРВ ВД очевидна, однако до сих пор она тиражируется преимущественно в виде мобильных и передвижных агрегатов, причем явно в недостаточном объеме.



Рис. 1. Мобильные УПТВ “Простор”: а — возимые; б — передвижные

Один из общепризнанных ученых, д-р техн. наук, проф. И. М. Абдурагимов, фактически сформулировал идею применения ТРВ ВД, утверждая, что в идеале для тушения 1 м² твердого вещества требуется всего 0,5 л воды. Нужно только решить главную задачу — как с помощью небольшого объема воды эффективно воздействовать на очаг горения. Эксперименты показывают, что очаг пламени мощностью 1 МВт (это примерно 1 м³ открытого пламени) можно потушить даже огнетушителем. По существу, первые мобильные УПТВ “Простор”, имеющие запас воды 50 или даже 120 л (см. рис. 1,б), являлись своего рода огнетушителями, применяемыми для ликвидации или подавления локальных пожаров мощностью до 5 МВт. Тем не менее по-прежнему при устройстве стационарных АУП ТРВ ВД возникают проблемы, связанные с отсутствием понимания технологической и экономической эффективности пожаротушения ТРВ ВД со стороны застройщика или собственника объекта защиты.

В 2016 г. была завершена разработка современной отечественной стационарной системы пожаротушения ТРВ ВД. При этом создан целый комплекс оборудования, включая фирменные форсунки, средства для надежного монтажа трубопроводов, сертифицированы все компоненты системы, разработаны руководства по проектированию, монтажу и эксплуатации и необходимые внутренние нормативные документы. Тем не менее остаются все те же проблемы внедрения, так как нормативная база, необходимая для проектирования и внедрения систем пожаротушения ТРВ ВД, по-прежнему отсутствует. До сих пор, если застройщик, собственник или эксплуатирующая организация осознали эффективность установок ТРВ ВД, им приходится идти по пути разработки СТУ, так как отсутствуют нормативные требования (ч. 2 ст. 78 Федерального закона № 123 (далее — ФЗ № 123) [2] и ч. 8 ст. 6 Федерального закона № 384 (далее — ФЗ № 384) [3]). Затем предстоит согласование их в соответствии с приказами МЧС России от 28.11.2011 г. № 710 и Минстроя России от 15.04.2016 г. № 248/пр, поэтому во многих случаях принимается решение в пользу традиционных спринклерных АУП.

За рубежом технологии пожаротушения ТРВ ВД, напротив, активно развиваются, чему способствуют Европейский стандарт CEN/TS 14972:2011 [4] и международные нормы NFPA 750 [5], а также активное содействие их продвижению со стороны страховых компаний. Для них определяющим является возможный ущерб, полученный не только собственно от пожара, но и в процессе его тушения, в частности в результате пролива большого объема воды при применении традиционных спринклерных АУП пожаротушения с рабочим давлением до 1 МПа. К сожалению, отечественные страховые ком-

пании пока не заинтересованы в стимулировании продвижения технологии ТРВ ВД или содействии принятию соответствующих нормативных правовых документов.

В связи с этим приходится снова возвращаться к вопросам эффективности ТРВ ВД, поиску эффективной системы пожаротушения, которая может сократить вторичный ущерб от пожара практически до нуля. Но прежде остановимся на терминологии. Так как термин “тонкораспыленная вода (ТРВ)” используют почти все разработчики водяных оросителей, распылителей и форсунок, во избежание дискуссии данный термин опустим, оставив для сравнительных оценок только характеристику давления. Традиционные системы пожаротушения низкого давления (до 1,25 МПа) будем сокращенно называть НД, а системы пожаротушения с рабочим давлением выше 3,5 МПа (а фактически более 5 МПа) — ВД. Еще одна терминологическая особенность: как называть устройства для подачи огнетушащего вещества? В соответствии с СП 5 [1] для НД подходит термин *ороситель*, а для ВД — *распылитель*. А как поступить, если создана и запатентована форсунка, у которой одно выходное отверстие? По терминологии СП 5 [1] форсунка — это одно из отверстий распылителя. Из вышесказанного видно, что даже в терминах и определениях этот свод правил требует корректировки, а пока все устройства подачи огнетушащего вещества (оросители, распылители, форсунки) будем называть *распылителями*.

Итак, по классификации ч. 1 ст. 45 ФЗ № 123 [2] существуют АУП агрегатного и модульного типа с распылителями соответственно НД и ВД. Чем они отличаются, кроме рабочего давления? Прежде всего, расходом воды. По данным исследователей из Финляндии, расход разработанного ими распылителя ВД за 30 мин составляет 380 л воды (при давлении около 10 МПа), а традиционного распылителя НД за то же время — 3600 л [6]. Примерно такие же оценки у итальянских производителей АУП ТРВ ВД [7]. Расход обычного спринклера превышает расход их распылителя более чем в 8 раз.

Вывод 1: *расход воды в системах НД примерно в 10 раз выше, чем в системах ВД.*

Далее, для систем НД используются трубы (подводящие, магистральные и распределительные) гораздо большего диаметра, чем в системах ВД (см. таблицу). Конечно, обязательно нужно говорить не только о диаметрах трубопроводов, но и о материалах труб. Если в системах НД можно использовать иногда даже неоцинкованные черные трубы (что, конечно, неправильно), то в системах ВД — обязательно(!) нержавеющие, причем желательно отечественные, например марки 12Х18Н10Т. Сделаем приблизительную оценку для распределительного трубопровода, учитывая, что примерно 2/3 всего трубо-

Сравнение диаметров труб в системах НД и ВД

Трубопроводы	Диаметр труб, мм, в системе	
	НД	ВД
Питающие, подводящие, стояки	150–200	50
Магистральные	75	28
Распределительные	25	12

провода АУП (по крайней мере, для систем ВД) составляют распределительные линии малого диаметра. В пересчете на существующие цены 1 м нержавеющей трубы почти в 2 раза дороже, но при этом надо учитывать, что распределительный трубопровод из нержавейки в 4 раза легче.

Вывод 2: с учетом труб большого диаметра подводящие, магистральные и распределительные трубопроводы в системах пожаротушения НД по сравнению с линиями ВД тяжелее более чем в 6 раз, но примерно в 2 раза дешевле.

Относительно запаса воды можно дать следующую оценку. **Вывод 3:** если производительность распылителей различается примерно на порядок, то для систем пожаротушения НД необходим значительно больший запас воды и, соответственно, более мощные нагнетательно-распределительные системы. Системы могут различаться по этим показателям более чем в 10 раз (все зависит от нормативных требований по продолжительности подачи воды системой (см., например, табл. 5.1 СП 5 [1])).

В работе [8] по материалам зарубежных публикаций были сделаны сравнительные оценки, которые приведены на рис. 2. Если принять за исходное условие усредненную спринклерную систему НД, то в ней масса оборудования и необходимый запас воды распределены примерно поровну. Общая же масса всей системы пожаротушения ВД с рабочим давлением 10...15 МПа составляет только 15 % от массы системы пожаротушения НД. В самой установке пожаротушения ВД соотношение массы воды, необходимой для пожаротушения, и массы оборудования равно примерно 1:10.

Так, если сравнивать обе установки по массе оборудования и трубопроводов, то соотношение будет примерно 4:1, а с учетом запаса воды — примерно 7:1 не в пользу систем НД.

Вывод 4: объем и масса монтируемого оборудования и, соответственно, затраты на монтаж систем пожаротушения НД в разы превышают затраты на монтаж систем пожаротушения ВД. При этом более компактные системы пожаротушения ВД значительно проще в обслуживании и эксплуатации.

Оценки и сравнения, сделанные на основе рассмотрения конструктивных, архитектурно-планировочных и компоновочных решений АУП, будут не-

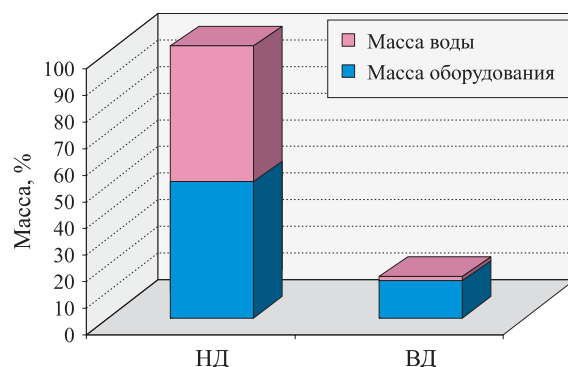


Рис. 2. Соотношение массы воды и массы оборудования в системах НД и ВД

полными без сравнения основных (если не сказать, самых главных) элементов этой системы — распылителей, задача которых распределять истекающие потоки воды на максимально возможную площадь. В распылителях НД эту функцию выполняют дополнительные конструктивные элементы, устанавливаемые на выходе струи из распылителя (рис. 3). Распылители ВД (рис. 4) изобретены сравнительно недавно, благодаря появлению новых технологий и материалов. По конструкции они представляют собой либо несколько струйных сопел, расположенных под углом, либо специальные вихревые форсунки (т. е. распылители). Главное отличие распылителей НД и ВД в размерах капель воды, которые формируются на выходе из распылителя. Распылители ВД при давлении от 7 до 12 МПа создают, прежде всего, мелкодисперсный поток водяных капель размером менее 150 мкм (согласно [1]), а фактически — от 50 до 100 мкм (данные практически всех разработчиков распылителей ТРВ ВД). Разработчики систем пожаротушения НД оперируют средним размером капель 2 мм, сравнивая их с каплями 0,05 мм в системах ВД [9]. Проведем сравнительную оценку. Если теоретически распылить 1 л воды на частицы размером 2 мм и 1 л — на частицы размером 0,05 мм, то получим соответственно 240 тыс. и 15,3 млрд. капель. Так как испарение воды происходит с поверхности, то интенсивность испарения при пожаротушении больше зависит не от количества капель, а от суммарной площади их

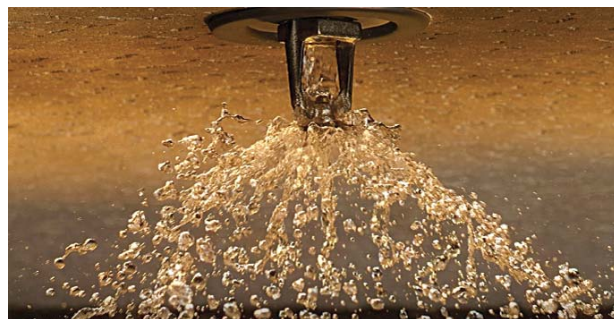


Рис. 3. Распылитель НД

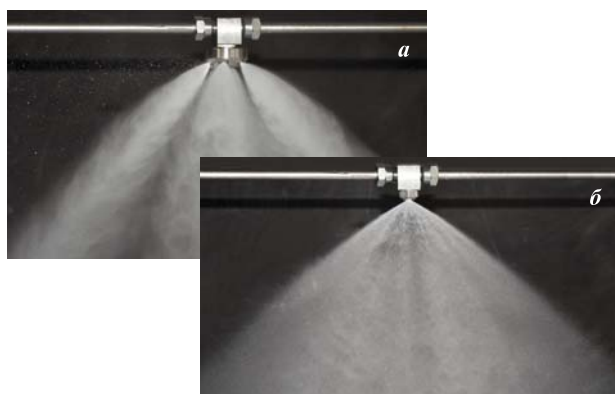


Рис. 4. Распылители ВД: а — с несколькими струйными соплами; б — форсунка вихревого типа

свободной поверхности. Если продолжать сравнение, то для частиц воды НД и ВД (размеры выше) суммарная площадь боковой поверхности равна соответственно 3 и 120 м², т. е. различается в 40 раз. Таким образом, огромное количество капель и увеличенная в десятки раз площадь поверхности испарения в системах пожаротушения ТРВ ВД значительно повышают скорость поглощения тепла в зоне горения, интенсивность вытеснения из нее кислорода и активно экранируют тепловое излучение.

Важнейший параметр для распылителей ВД — это скорость истечения из них воды. Чем выше давление в системе, тем выше скорость истечения. При скорости истечения, превышающей 100–150 м/с, следует учитывать дополнительный мощный аэродинамический фактор дробления водяного потока, чего нет при гравитационном истечении из распылителей НД. В этом случае мы имеем дело не с капельно-струйным течением, а с быстролетающим туманом. Не случайно в Европе часто используют термин “Jet Fog” — *реактивный туман*. Мелкие частицы воды, обладающие хорошей проникаемостью, способствуют тому, что ТРВ распределяется по всему пространству, “затекая” даже за препятствия, напоминая по характеру распределения в пространстве газ (квасигаз). Такая способность летящего тумана больше соответствует объемному способу тушения пожара. *В совокупности все перечисленные свойства и особенности систем пожаротушения ТРВ ВД позволяют говорить о том, что они способны составить серьезную конкуренцию не только традиционным системам распыления воды НД, но и в ряде случаев газовым системам пожаротушения.*

Следует отметить также дополнительные преимущества использования водяного тумана при тушении пожара:

- он весьма эффективно выполняет функцию дымоподавления (дымоосаждения);
- мелкодисперсная вода экранирует тепловое излучение и может использоваться для защиты по-

жарного, а также материальных ценностей на пожаре;

- распыленная вода в отличие от водяных струй более равномерно охлаждает сильно нагретые металлические поверхности несущих конструкций, что исключает их локальную деформацию, потерю устойчивости и разрушение;
- низкая электрическая проводимость водяного тумана делает возможным его применение в качестве эффективного средства пожаротушения на электроустановках, находящихся под напряжением.

Особенно эффективным является применение систем пожаротушения ТРВ ВД на ранних стадиях обнаружения пожара, в замкнутых помещениях, а также на объектах, не допускающих вторичного ущерба при пожаре (от избыточного пролива воды). В соответствии с рекомендациями международного и европейского стандартов [4, 5], исследованиями зарубежных коллег [6, 7], а также исходя из накопленного опыта можно сформулировать следующие области наиболее эффективного использования ТРВ ВД для тушения пожаров класса А, В и Е:

- в кабельных сооружениях электростанций, в том числе АЭС, и подстанций;
- в кабельных сооружениях промышленных и общественных зданий (тоннели, каналы, подвалы, шахты, этажи, двойные полы, галереи, камеры, используемые для прокладки электрокабелей);
- в городских кабельных коллекторах и тоннелях;
- в электроустановках, находящихся под напряжением до 35 кВ;
- в помещениях для хранения горючих материалов или негорючих материалов в горючей упаковке;
- в наземных и подземных помещениях и сооружениях метрополитенов и подземных скоростных трамваях;
- в автотранспортных тоннелях;
- в помещениях складского назначения;
- в помещениях хранилищ библиотек и архивов.

Приведенные выше оценки помогают понять, почему системы пожаротушения ТРВ ВД так стремительно развиваются и становятся все более и более востребованными, несмотря на явную недостаточность научной и нормативной базы по их применению.

Авторы признают, что для многих объектов жилого и общественного назначения вполне достаточно использовать традиционные системы пожаротушения НД и проблема их относительно невысокой эффективности (по официальной статистике не выше 50–60 %) относится, скорее всего, к упущениям в проектировании, монтаже и особенно в обслуживании. Системы пожаротушения НД существуют уже более 100 лет, и во многих странах мира АУП счита-

ются весьма действенным средством ограничения развития пожара и его тушения. Однако фактически эти системы ориентированы на достижение цели номер 1, сформулированной в ст. 61 ФЗ № 123 [2], т. е. на ликвидацию пожара в помещении (здании) до возникновения критических значений опасных факторов пожара. При этом следует отметить, что в соответствии со ст. 89 [2] расчет эвакуационных путей и выходов для людей проводится *без учета применяемых средств пожаротушения*, что занижает значимость и эффективность АУП. Кроме того, для традиционных спринклерных АУП недостижимыми остаются еще три цели (ст. 61 [2]), а именно: ликвидация пожара до наступления предела огнестойкости строительных конструкций; до причинения максимально допустимого ущерба защищаемому имуществу; до наступления опасности разрушения технологических установок. Это можно объяснить тем, что при использовании АУП НД реализуется поверхностный или локально-поверхностный способ тушения (ч. 1 ст. 45 [2]). Что касается ТРВ ВД, то их правильнее рассматривать в качестве средства объемного или локально-объемного пожаротушения, что пока не вписывается в способы, указанные в п. 5.4.1 СП 5 [1]. Тем не менее такие системы позволяют реально обеспечить достижение всех

трех целей, что можно подтвердить как испытаниями, так и расчетно-аналитическими методами согласно положениям ст. 15 и 17 ФЗ № 384 [3]! По крайней мере, это касается тех объектов, которые перечислены выше.

Выводы

Системы пожаротушения НД более чем за вековой период практического применения сохраняют ведущую роль в системах противопожарной защиты в основном благодаря развитой нормативной правовой базе, отработанным проектным и технологическим решениям, сформировавшемуся положительному отношению к ним страховых компаний.

Системы пожаротушения ТРВ ВД в экспериментах показали существенно более высокие потенциальные возможности и эффективность по сравнению с традиционными. Этому способствовало прежде всего создание высокоэффективных распылителей и форсунок ТРВ ВД на основе новых технологий, инструментария и материалов. Однако низкие темпы формирования нормативной и расчетно-аналитической базы для их применения являются серьезным сдерживающим фактором перехода на широкое внедрение их в практику пожаротушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (с изм. № 1 от 20.06.2011). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071148> (дата обращения: 02.02.2017).
2. 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: 02.02.2017).
3. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 04.01.2010. — № 1, ст. 5.
4. CEN/TS 14972–2011. Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen — Feinsprüh-Löschanlagen — Planung und Einbau [Стационарные противопожарные системы. Водосмесительные системы. Конструкция и установка]. — Germany, Deutsches Institut Fur Normung E. V., 2011.
5. NFPA 750. Standard on Water Mist Fire Protection Systems. 2015 edition. — Quincy, MA : NFPA, 2014. — 88 p.
6. Сайт компании HI-FOG. Water Mist Fire Protection. URL: <http://www.marioff.com/> (дата обращения: 02.02.2017).
7. Сайт фирмы “Еусеби Импианти” (Eusebi Impianti). URL: <http://www.eusebi-impianti.it> (дата обращения: 02.02.2017).
8. Гергель В. И., Цариченко С. Г., Поляков Д. В. Пожаротушение тонкораспыленной водой установками высокого давления оперативного применения // Пожарная безопасность. — 2006. — № 2. — С. 125–132.
9. Пахомов В. П. Особенности применения АУПТ тонкораспыленной водой: комментарии // Пожарная безопасность в строительстве. — 2009. — Декабрь (№ 5). — С. 59–65.

Материал поступил в редакцию 17 февраля 2017 г.

Для цитирования: Гергель В. И., Мешалкин Е. А. Пожаротушение тонкораспыленной водой высокого давления // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 3. — С. 45–49. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.45-49.

Устройство пожаротушения «КЛИН»

Устройство «КЛИН»
прошло испытания и
сертифицировано во
ВНИИПО МЧС РОССИИ.
Сертификат соответствия
С-RU.ПБ01.А.02528
действует до
21.10.2018

Применяется в лесопарковой зоне,
в малоэтажных населенных пунктах,
на территориях садовых товариществ
для тушения локальных пожаров,
при возгорании транспортных средств,
а также в труднодоступной местности
для тушения низовых лесных и
торфяных пожаров.

Огнетушащая способность
(ранг модельного очага):
15А (430 кг деревянных брусков)
233В (155 л бензина)

Время подготовки к действию – 1,5 мин

Обеспечивает гидроразрыв грунта,
проникновение струи в торф – до 0,6 м



Огнетушащее вещество (ОТВ):
вода, вода с добавками ПАВ.

Бензиновый
двигатель

Насос
230 атм

Дальность подачи
ОТВ – до 10 м

Объем цистерны
300 л

Время непрерывной подачи – 20 мин
(обеспечивает тушение нескольких
указанных модельных очагов пожара).

ПРЕИМУЩЕСТВА:

Наличие собственного запаса ОТВ

Возможность самостоятельной заправки и
дозаправки даже во время тушения пожара

Применяется в составе с квадроциклами

Устройство может устанавливаться на
автомобильном прицепе, в пикапе и т. п.

ДВОЙНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ:

В строительстве, муниципальном и лесном хозяйстве

Мойка мостовых, стен, ограждений, обелисков,
памятников, транспортных средств

Дезинсекция, дезинфекция, дезактивация

Авторалли, мотокросс, испытания и соревнования в
качестве сопровождающей пожарной техники и мойки



УПТ(Н,В)-300-У2-
КЛИН.634264.001ТП

В. С. МЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук, заместитель генерального директора ООО “Международный противопожарный центр” (Россия, 115446, г. Москва, Коломенский пр., 14; e-mail: melnikov@firecenter.ru)

С. В. КИРИЛЛОВ, ведущий специалист ООО “Международный противопожарный центр” (Россия, 115446, г. Москва, Коломенский пр., 14; e-mail: sv@firecenter.ru)

М. В. МЕЛЬНИКОВ, специалист ООО “Международный противопожарный центр” (Россия, 115446, г. Москва, Коломенский пр., 14)

М. И. ЩЕРБАКОВ, генеральный директор ООО “ИРТИС/IRTIS” (Россия, 105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11, корп. 2; e-mail: info@irtis.ru)

Р. В. ГАРСКОВ, инженер ООО “ИРТИС/IRTIS” (Россия, 105120 г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11, корп. 2; e-mail: info@irtis.ru)

УДК 614.847.9

ТАКТИЧЕСКОЕ ТЕРМОГРАФИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТУШЕНИЯ ПОЖАРА УСТРОЙСТВОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПОДАЧИ ОГНЕТУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА

Для контроля испытаний пожарной техники при тушении модельных очагов пожара применены средства дополненной реальности. Показано, что наблюдения в спектральном диапазоне инфракрасного излучения 3...5 мкм позволяют обеспечить ориентацию и целеуказание при полном отсутствии видимости. С помощью термограмм выявлены изменения в процессе горения при подаче огнетушащего вещества в виде тонкораспыленного потока и компактной струи. По результатам регистрации температурных аномалий и средних температур центральной, а также расширенной зон горения выполнена оценка динамики тушения. Установлено, что инструментальный контроль делает доступным синхронизацию подавления процесса горения, адаптацию приемов и обеспечивает существенное повышение эффективности пожаротушения. С учетом данных термографирования выработаны рекомендации по применению устройства высокоскоростной подачи огнетушащего вещества “КЛИН”.

Ключевые слова: дополненная реальность; термография; тепловидение; пожарная тактика; устройства пожаротушения.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.51-59

Современные средства объективного контроля, термографы и тепловизоры, в настоящее время позволяют существенно повысить информативность пожарно-технических испытаний строительных материалов и конструкций [1, 2]. ГОСТ Р 56076–2014 [3] рекомендует использовать соответствующие методы и приборы для контроля нарастания опасных факторов при натурных огневых испытаниях, а также при стендовых испытаниях на пожарную опасность и огнестойкость. Успешно применяется инфракрасная термографическая съемка при экспериментальном изучении динамики горения с детализацией, например, локальных быстропротекающих тепломассообменных процессов [4] и тактическое тепловидение — в практике пожарных подразделений [5].

Настоящим исследованием предпринята попытка распространить указанный положительный опыт на испытания пожарной техники. Так, с целью оценки эффективности инструментального контроля было применено термографирование при моделирова-

нии тушения очагов пожара передвижным устройством “КЛИН”, сведения о котором приведены в табл. 1.

Само устройство состоит из мотор-насосного агрегата высокого давления, цистерны, рукавной катушки, рукава высокого давления со стволом и может устанавливаться в кузове или прицепе легкомоторного транспортного средства (квадроцикла, минитрактора, мотоблока, пикапа) [6]. Стандартные сертификационные испытания (рис. 1 и 2) подтвердили его соответствие требованиям, предъявляемым ГОСТ Р 53291–2009 [7] к устройствам пожаротушения с высокоскоростной подачей огнетушащего вещества (ОТВ), включая соответствие огнетушащей способности при тушении модельных очагов пожара, выбранных по табл. 4 ГОСТ Р 51017–2009 [8], исходя из фактической массы огнетушащего вещества.

При этом необходимо отметить важность тактики применения устройства “КЛИН”, в первую оче-

Таблица 1. Тактико-технические характеристики устройства “КЛИН”

Показатель (по ГОСТ Р 53291–2009)	Значение показателя
Огнетушащая способность (ранг модельного очага пожара)	15А, 233В
Время тушения модельного очага пожара, мин, не более	10
Огнетушащее вещество	Вода, водные растворы пенообразователей, смачивателей или реагентов
Вместимость цистерны, л (масса ОТВ, кг)	300 (300)
Масса пенообразователя на один заряд ОТВ, кг	5...10
Время действия (продолжительность подачи ОТВ), мин, не менее	20
Дальность подачи тонкораспыленного ОТВ, м	До 10
Расход ОТВ, л/ч (л/с)	400...780 (0,11...0,22)
Скорость подачи ОТВ, м/с:	
круглая струя	84...163
плоская струя	66...129
Рабочее давление, МПа	4...23
Глубина гидроразрыва грунта (проникновения струи в торф), м	До 0,6
Время непрерывной работы моторно-насосного агрегата на одной заправке бензина (6,5 л), ч, не менее	1,5
Длина рукава высокого давления, м	55
Масса устройства, кг:	
конструктивная (сухая)	115
общая снаряженная	425

редь из-за ограниченной массы ОТВ и его расхода, поскольку нерациональное использование технических возможностей может привести к отсутствию положительного результата при тушении пожара. Вместе с тем следует заметить, что тушение стандартных модельных очагов пожара (см. рис. 1 и 2) оказывается эффективным после одной-двух тренировок, так как однообразие процесса горения позволяет быстро выявить необходимые и достаточные приемы пожаротушения. Более сложные сценарии, приближенные к реальности, имеют место при тушении нестандартных очагов, которые отличаются от стандартных случайным распределением зон различной интенсивности горения и случайным распределением закрытых участков, труднодоступных для ОТВ. Тушение таких очагов требует адаптивного применения пожарной техники, поэтому именно



Рис. 1. Модельный очаг пожара ранга 15А (штабель из 450 брусков 1190×40×40 мм): а — в начале тушения; б — через 23 с после начала тушения

нестандартные условия и моделировались при термографическом контроле горения твердых горючих материалов, которые выбирали из порубочных остатков и отходов строительных материалов хвойных и лиственных пород древесины.

Во всех опытах использовались два основных режима подачи ОТВ — в виде круглой и плоской струй.

В первом варианте (рис. 3) наблюдается увеличение диаметра компактной части от 1,3 до 6 мм по



Рис. 2. Модельный очаг пожара ранга 233В (155 л бензина в поддоне диаметром 3 м): *а* — в начале тушения; *б* — через 1,5 мин после начала тушения

длине струи с образованием за счет взаимодействия с окружающим воздухом тонкораспыленного потока (далее — ТРП). Полное распыление компактной части достигается на расстоянии 3...4 м от ствола.

Изменение давления компактной части и доли тонкораспыленной части по длине круглой струи показано на рис. 4. Имеющиеся зависимости режима истечения можно использовать для наиболее эффективного воздействия на очаг пожара. Так, путем оперативного уменьшения дистанции меняют по-

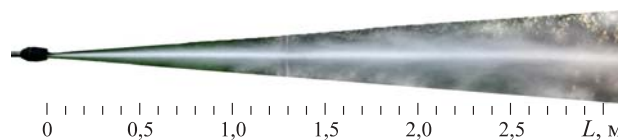


Рис. 3. Распыление компактной круглой струи по ее длине с формированием ТРП

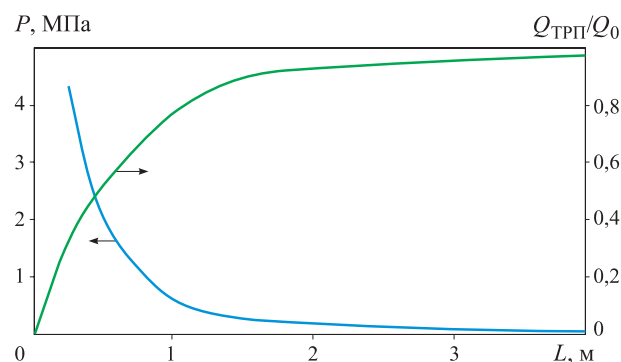


Рис. 4. Зависимости давления компактной части струи P на перпендикулярную плоскую преграду и доли тонкораспыленной части $Q_{\text{ТРП}}/Q_0$ от длины круглой струи L : $Q_{\text{ТРП}}$ — подача (расход) ТРП на расстоянии L от ствола; Q_0 — расход струи на выходе ствола

дачу ТРП на подачу компактной струи и, наоборот, путем увеличения расстояния переходят к распылению ОТВ.

При расстоянии от ствола менее 1 м за счет высокого давления обеспечивается проникающая способность ОТВ, что приводит к разрушению обугленной поверхности горящих твердых материалов и вымыванию их остатков.

На расстоянии 3 м и более от ствола давление компактной части струи существенно снижается и становится безопасным для человека. Соответственно, увеличивается доля тонкораспыленной части и площадь орошения, однако тонкораспыленный поток увлекает значительное количество воздуха, что может привести к усилению нежелательного воздухообмена в зоне горения.

Второй вариант истечения, в форме плоской струи, аналогично характеризуется наличием компактной части и переходом ее в тонкораспыленный поток (см. рис. 1 и 2). Отличие заключается в более коротком пути распыления (не более 2,0...2,5 м) и большей площади орошения ТРП (до 1 м в ширину за один проход).

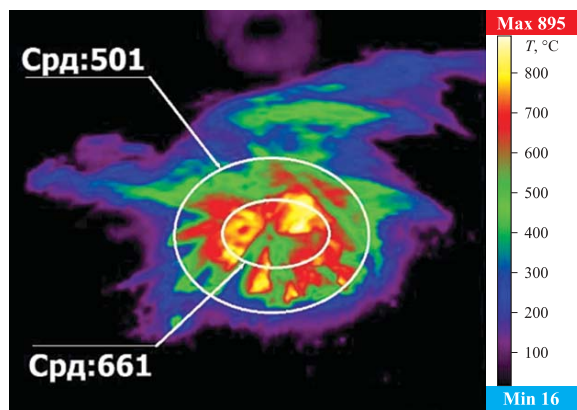
Характер воздействия плоской струи на очаг пожара, так же как и круглой, можно менять варьированием дистанции, с которой проводится распыление ОТВ.

При использовании указанных вариантов подачи ОТВ на эффективность тушения влияют следующие факторы: форма струи, направление подачи ОТВ и дистанция от ствола до очага пожара. Все эти

$t = 0:10:32$



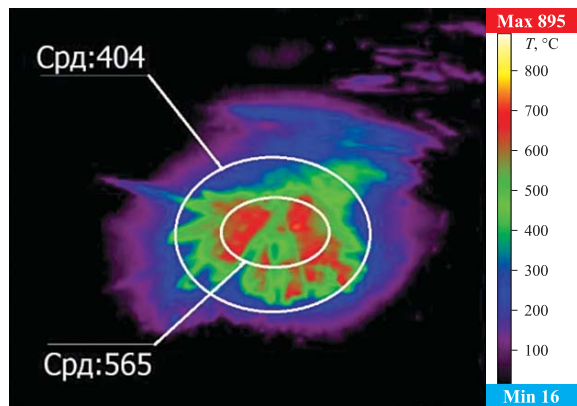
256



$t = 0:10:37$



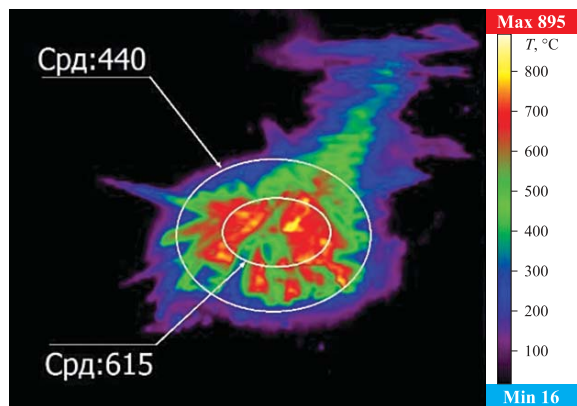
258



$t = 0:10:42$



260



$t = 0:11:35$



283

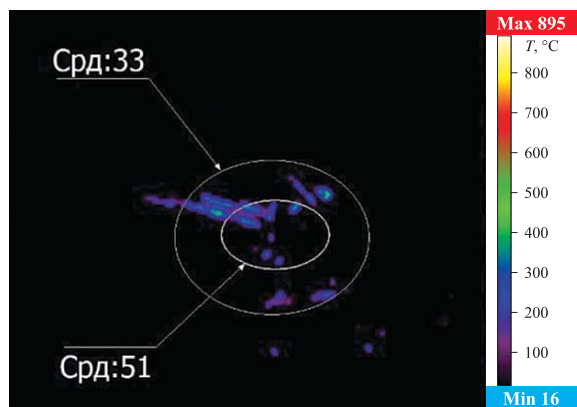


Рис. 5. Модельный очаг пожара (пример 1) в моменты времени t (ч:мин:с) (слева) и соответствующие термограммы 256, 258, 260 и 283 центральной и расширенной зон горения (справа) (на термограммах указаны средние температуры)

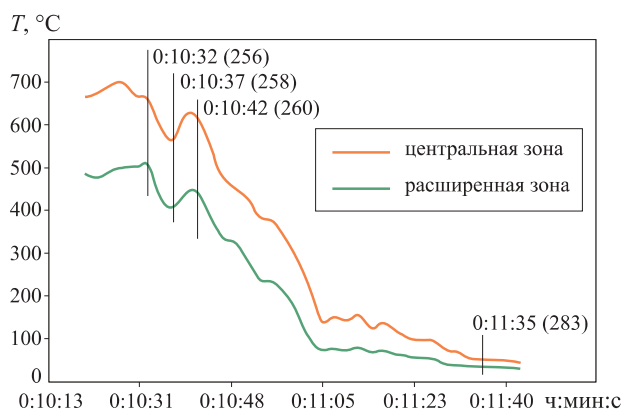


Рис. 6. Изменение средних температур центральной и расширенной зон горения модельного очага пожара по времени t (пример 1): вертикальные линии — моменты регистрации термограмм 256, 258, 260 и 283



Рис. 7. Действие тонкораспыленной водяной завесы на дистанции 3...4 м в момент $t = 0:09:25$ при тушении модельного очага пожара (пример 2)

факторы могут независимо друг от друга и оперативно меняться: первый — путем переключения режима подачи, второй и третий — за счет активного маневрирования, что и было реализовано в каждом опыте.

Термографический контроль процесса горения и тушения модельных очагов в настоящем исследовании осуществляли приборами “ИРТИС” [9], кото-

рые обеспечивают наблюдение в текущем времени с регистрацией термоизображений (термофильмов) и бесконтактное измерение температур до 1700 °C с погрешностью $\pm 1\%$ или $\pm 1\text{ °C}$ по всему полю зрения. Выбранные термографы нечувствительны к помехам и сохраняют достоверность данных, фиксируемых при высокой дымообразующей способности материалов очага пожара, так как работают в спектральном диапазоне инфракрасного излучения (3...5 мкм).

Термографирование опытов сопровождалось синхронной регистрацией видимого изображения с помощью цифровых камер. Отсчет времени t проводили от начала розжига, который осуществляли с применением нефтепродуктов (жидкостей для розжига) в течение 7...10 мин до достижения регистрируемых термографом локальных температур (температурных аномалий) выше 800 °C.

Полученные результаты представлены в трех примерах выборки кадров видеоряда и термограмм (рис. 5, 7, 8, 10, 11). Для количественной оценки дополненной реальности построены графики температур (рис. 6, 9, 12).

Пример 1. Контроль тушения модельного очага пожара осуществлялся по средней температуре в центральной зоне горения и по средней температуре в расширенной зоне (см. рис. 5 и 6). При тушении плоской струей с расстояния 3...4 м вначале удалось снизить средние температуры примерно на 100 °C (в интервале 0:10:32...0:10:37, термограммы 256 и 258). Затем вследствие раздувания очага воздухом, увлеченным ТРП, средние температуры вновь выросли на 40...50 °C (в интервале 0:10:37...0:10:42, термограммы 258 и 260). Важно, что эти изменения малозаметны на кадрах видеоряда, но четко фиксируются термографом. Уменьшение дистанции до 1...2 м и активное маневрирование стволом по-

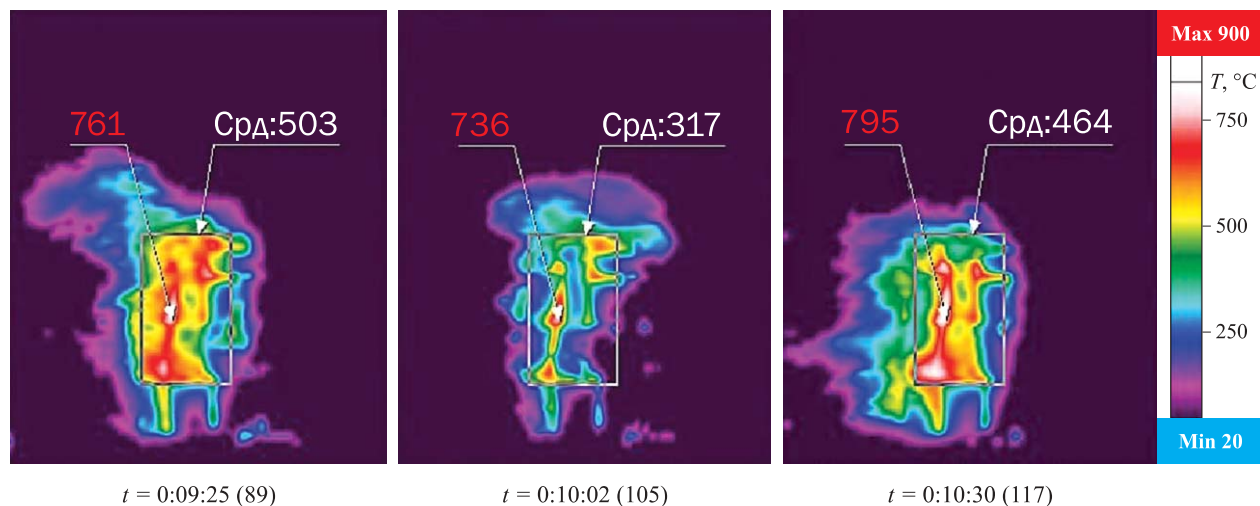


Рис. 8. Термограммы 89, 105 и 117 (пример 2) с указанием максимальных (выделены красным цветом) и средних температур в зоне горения в различные моменты t (ч:мин:с)

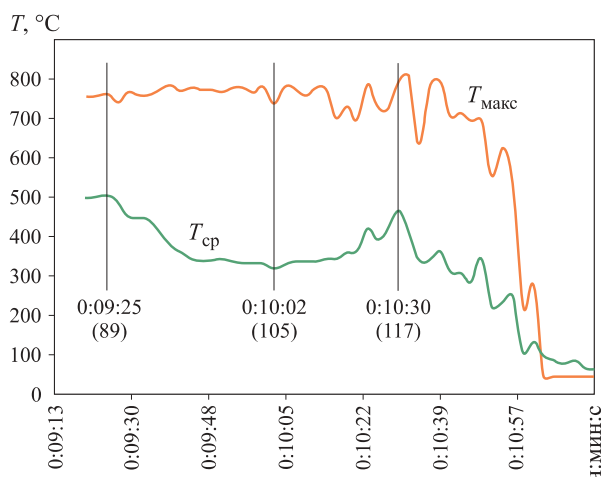


Рис. 9. Изменение максимальных и средних температур в зоне горения модельного очага пожара по времени t (пример 2): вертикальные линии — моменты регистрации термограмм 89, 105 и 117



Рис. 10. Действие тонкораспыленной водяной завесы на дистанции 1,5...2,0 м в момент $t = 0:10:47$ при тушении модельного очага пожара (пример 3)

зволили в дальнейшем за 53 с потушить модельный очаг уже без скачков температур (в интервале 0:10:42...0:11:35, термограммы 260 и 283). Следует также отметить, что отсутствие видимости на завершающей стадии (см. рис. 5, $t = 0:11:35$) полностью компенсировалось четким отображением состояния очага в поле зрения термографа (см. рис. 5, термограмма 283). Изменения средних температур в центральной и расширенной зонах горения проходили синхронно, поэтому эффективность тушения могла контролироваться по любой из этих температур.

Пример 2 демонстрирует особенности реакции модельного очага при начальной подаче ТРП (см. рис. 7–9), в частности несинхронное изменение температур. ТРП охлаждал часть модельного очага, и средняя температура $T_{ср}$ снижалась при естественных малых колебаниях максимальной температуры $T_{макс}$ (см. рис. 8 и 9, $t = 0:09:25...0:10:02$, термограммы 89 и 105). Дальнейшая подача ТРП сопровождалась даже ростом средней температуры (до момента $t = 0:10:30$, термограмма 117). Эффективный режим тушения был достигнут лишь на третьей стадии за счет уменьшения дистанции, активного маневрирования, необходимого переключения подачи ОТВ с плоской струи на круглую и пролива труднодоступных мест. В это время стали синхронными и изменения температур $T_{ср}$ и $T_{макс}$. Длительность завершения тушения от момента $t = 0:10:30$ не превысила 30 с.

Пример 3 показывает, что активное маневрирование стволом и смена режима подачи ОТВ позволяют добиться эффективного тушения за счет полной синхронизации воздействия как на всю зону

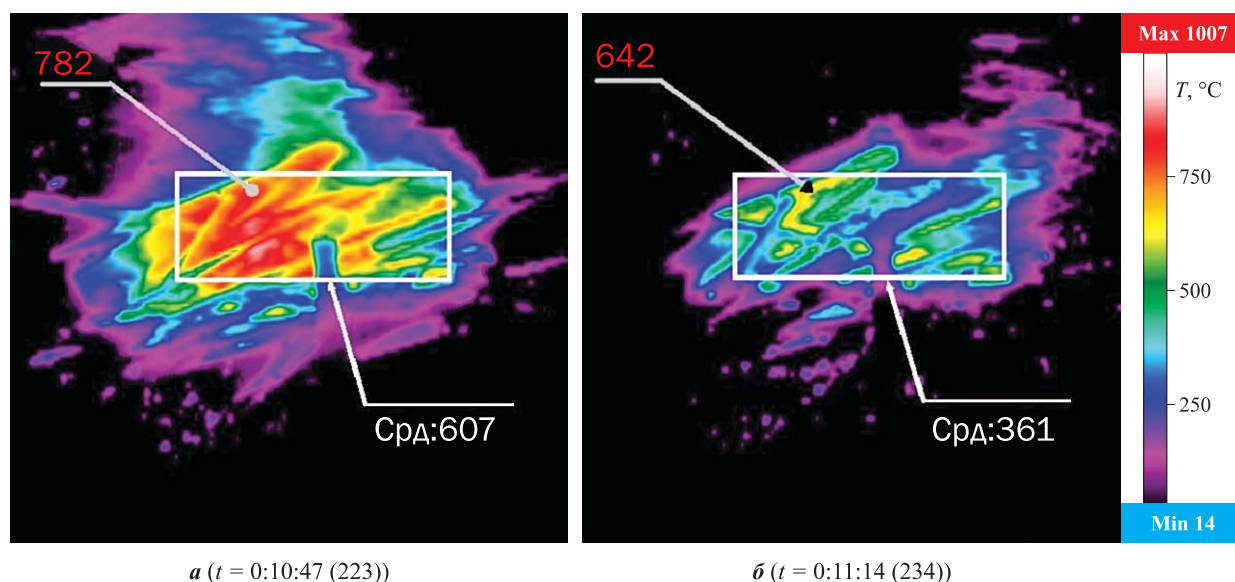


Рис. 11. Термограммы 223 и 234 с указанием максимальных (выделены красным цветом) и средних температур $T_{макс}$ и $T_{ср}$ в зоне горения в различные моменты времени t (ч:мин:с): а — при наличии видимости (см. рис. 10); б — при полном отсутствии видимости

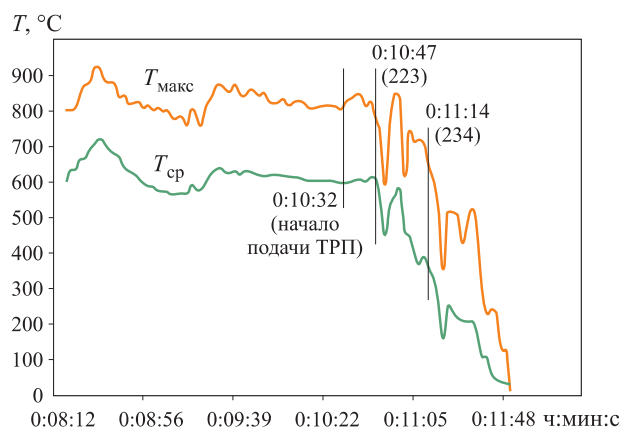


Рис. 12. Изменение максимальных и средних температур в зоне горения модельного очага пожара по времени t (пример 3): вертикальные линии — моменты регистрации температур в начале подачи ТРП и термограмм 223 и 234

Таблица 2. Оценка эффективности использования устройства “КЛИН”

Пример	Синхронизация изменения температур	Время подачи ОТВ, с		T_3/T
		на завершающей стадии T_3	общее T	
1	Полная	53	63	0,84
2	Частичная	30	95	0,31
3	Полная	65	80	0,81

горения, так и на участки наиболее интенсивного горения (см. рис. 10–12). В этом случае оценка дополненной реальности могла проводиться отдельно, как по температурной аномалии, так и по средней температуре, но объединение измерений $T_{\text{ср}}$ и $T_{\text{макс}}$ гарантировало эффективность самого контроля. Начало подачи ТРП было осуществлено с расстояния 3...4 м в момент времени $t_0 = 0:10:32$. Создание тонкораспыленной завесы привело к уменьшению теплового излучения в сторону ствольщика (что позволило ему приблизиться к очагу пожара), но вызвало в то же время раздувание пламени и рост температур $T_{\text{ср}}$ и $T_{\text{макс}}$. Снижение температур началось только после уменьшения дистанции с момента времени $t = 0:10:47$ и воздействия на зоны температурных аномалий компактной струи. В результа-

те действия плоской струи по поверхности и круглой струи по труднодоступным участкам длительность тушения модельного очага составила примерно 80 с. Следует отметить, что на стадии тушения из-за дыма и парообразования имела место полная потеря видимости, т. е. ориентирование могло осуществляться только по тепловому изображению.

Поскольку во всех опытах тушение проводилось при одинаковом максимальном расходе (0,22 л/с) и практически непрерывной подаче ОТВ, по соотношению времени завершающей стадии и общего времени тушения можно было ориентировочно оценить эффективность использования устройства. Данные, приведенные в табл. 2, подтверждают, что синхронизация снижения температур при инструментальном контроле в примерах 1 и 3 позволила добиться лучших показателей, чем в примере 2 при меньшей синхронизации.

Выводы и рекомендации

1. Испытаниями установлено, что эффективность применения пожарной техники может быть существенно повышена в результате применения тактического термографирования.

2. Наблюдение процесса тушения модельных очагов пожара в инфракрасном диапазоне позволило обеспечить ориентацию и целеуказание, в том числе при полном отсутствии видимости.

3. Установлено, что инструментальный контроль температурных аномалий и средних температур делает доступным синхронизацию изменения температур в зоне горения и адаптацию приемов тушения для нестандартных очагов пожара.

4. В качестве функций цели при тушении пожара устройством “КЛИН” намечено первоочередное действие тонкораспыленной завесы для снижения теплового излучения и уменьшения дистанции, а также последующее подавление температурных аномалий компактной высокоскоростной подачей ОТВ.

5. С целью выявления потенциала пожарной техники и отработки эффективных приемов практический интерес представляет разработка стандарта тактического термографирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников В. С., Хасанов И. Р., Кириллов С. В., Васильев В. Г., Ванин С. А., Щербаков М. И., Гарсков Р. В. Термографирование при огневых испытаниях фрагментов зданий и строительных конструкций // Пожарная безопасность. — 2015. — № 3. — С. 83–90.
2. Мельников В. С., Кириллов С. В., Васильев В. Г., Ванин С. А., Мельников М. В. Повреждение теплоизоляционных материалов тепловым излучением // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. — 2016. — Вып. 1(65). — 10 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/21-01-16.ttb.pdf> (дата обращения: 05.01.2017).

3. ГОСТ Р 56076–2014. Конструкции строительные. Конструкции из панелей с металлическими обшивками. Методы испытаний на огнестойкость и пожарную опасность. — Введ. 01.01.2015. — М. : ФГУП Стандартинформ, 2014. — 44 с.
4. Loboda E. L., Matvienko O. V., Vavilov V. P., Reyno V. V. Infrared thermographic evaluation of flame turbulence scale // Infrared Physics & Technology. — 2015. — Vol. 72. — P. 1–7. DOI: 10.1016/j.infrared.2015.07.001.
5. Andy J. Starnes. Introduction to tactical thermal imaging // FDIC International 2016. URL: <http://www.fdic.com/articles/2016/11/andy-j-starnes-introduction-to-tactical-thermal-imaging.html> (дата обращения: 05.01.2017).
6. Пат. 146852 Российская Федерация, МПК А62С 27/00 (2006.01). Надстройка малогабаритного транспортного средства, приспособленного для тушения пожара / Мельников В. С. — № 2013141281/12; заявл. 10.09.2013; опубл. 20.10.2014, Бюл. № 29. URL: http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet?DB=RUPM&rn=2154&DocNumber=146852&TypeFile=html (дата обращения: 05.01.2017).
7. ГОСТ Р 53291–2009. Техника пожарная. Переносные и передвижные устройства пожаротушения с высокоскоростной подачей огнетушащего вещества. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.01.2010. — М. : Стандартинформ, 2009.
8. ГОСТ Р 51017–2009. Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.01.2010. — М. : Стандартинформ, 2009.
9. Официальный сайт ИРТИС. URL: <http://www.irtis.ru/> (дата обращения: 05.01.2017).

Материал поступил в редакцию 9 января 2017 г.

Для цитирования: Мельников В. С., Кириллов С. В., Мельников М. В., Щербаков М. И., Гарсков Р. В. Тактическое термографирование процесса тушения пожара устройством высокоскоростной подачи огнетушащего вещества // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 3. — С. 51–59. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.51–59.

English

TACTICAL THERMOGRAPHY OF FIRE EXTINGUISHING PROCESS BY THE DEVICE USING HIGH SPEED FLOW OF FIRE EXTINGUISHING AGENT

MELNIKOV V. S., Candidate of Technical Sciences, Deputy Director General, International Fire Center Ltd. (Kolomenskiy Proezd, 14, Moscow, 115446, Russian Federation; e-mail: melnikov@firecenter.ru)

KIRILLOV S. V., Leading Specialist, International Fire Center Ltd. (Kolomenskiy Proezd, 14, Moscow, 115446, Russian Federation; e-mail: sv@firecenter.ru)

MELNIKOV M. V., Specialist, International Fire Center Ltd. (Kolomenskiy Proezd, 14, Moscow, 115446, Russian Federation)

SHCHERBAKOV M. I., Director General, IRTIS Ltd. (Nizhnyaya Syromyatnicheskaya St., 11, build. 2, Moscow, 105120, Russian Federation; e-mail: info@irtis.ru)

GARSKOV R. V., Engineer, IRTIS Ltd. (Nizhnyaya Syromyatnicheskaya St., 11, build. 2, Moscow, 105120, Russian Federation; e-mail: info@irtis.ru)

ABSTRACT

Positive experience of fire tests thermography is proposed to be extended over testing of fire equipment when the application tactics of fire extinguishing devices is primarily important because of the limited mass and flow rate of fire extinguishing substances, and inappropriate use of technical opportunities which may result in low efficiency of fire extinguishing.

As tools of objective control “IRTIS” thermographs were used which are insensitive to interferences and maintain the accuracy of data recorded with high smoke-forming ability of the materials of fire.

Means of augmented reality applied to control testing of fire equipment to extinguish fire models. It is shown that observations in the spectral range of infrared radiation of 3...5 μm ensured orientation and targeting in the complete absence of visibility. The corresponding thermograms revealed changes in the combustion process due to the flow of extinguishing agent in the form finely sprayed flow and compact jet. Evaluation of fire extinguishing dynamics was done based upon the results of registered temperature anomalies and average temperatures of the central as well as extended zones of combustion. It was established that instrumental control makes available the synchronization of the suppression of the combustion process, adaptation of techniques and provides a significant increase in the efficiency of fire extinguishing. Based on the thermography data, recommendations were developed for the device using high speed flow of fire extinguishing agent "KLIN".

Objective functions to combine tactical thermography with the use of the tested device are outlined. They include: priority for further action of finely dispersed curtain to reduce controlled thermal radiation and to allow reduction of the distance and following close action with the suppression of controlled temperature anomalies of the compact high-speed supply of fire extinguishing substances at the final stage of extinguishing the fire.

It is noted that extinguishing of standard fire models is possible after one or two exercises because uniformity of burning allows to quickly identify necessary and sufficient techniques. More complex scenarios which are close to reality, take place when fighting non-standard fires, which are different from the standard ones by random distribution of zones of different intensity of combustion and random distribution of the closed areas, difficult to reach for the extinguishing substance. Extinguishing of these fires require adaptive use of fire equipment, that's why thermographic control of the burn is recommended in non-standard conditions.

Keywords: augmented reality; thermography; thermal imaging; fire tactics; extinguishing devices.

REFERENCES

1. Melnikov V. S., Khasanov I. R., Kirillov S. V., Vasilyev V. G., Vanin S. A., Shcherbakov M. I., Garskov R. V. Thermography of building elements and building structures during fire tests. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2015, no. 3, pp. 83–90 (in Russian).
2. Melnikov V. S., Kirillov S. V., Vasilyev V. G., Vanin S. A., Melnikov M. V. Damaging of heat insulating materials by thermal radiation. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal (Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal)*, 2016, issue 1(65). 10 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/21-01-16.ttb.pdf> (Accessed 5 January 2017).
3. National standard of Russian Federation 56076–2014. Building structures. Construction from double skin metal faced insulating panels. Fire resistance and fire hazard test methods. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 44 p. (in Russian).
4. Loboda E. L., Matvienko O. V., Vavilov V. P., Reyno V. V. Infrared thermographic evaluation of flame turbulence scale. *Infrared Physics & Technology*, 2015, vol. 72, pp. 1–7. DOI: 10.1016/j.infrared.2015.07.001.
5. Andy J. Starnes. Introduction to tactical thermal imaging. *FDIC International 2016*. Available at: <http://www.fdic.com/articles/2016/11/andy-j-starnes-introduction-to-tactical-thermal-imaging.html> (Accessed 5 January 2017).
6. Melnikov V. S. *Small size vehicle superstructure, designed for fire extinguishing*. Patent RU, no. 146852, publ. date 20.10.2014, Bull. no. 29 (in Russian). Available at: http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_serv1et?DB=RUPM&rn=2154&DocNumber=146852&TypeFile=html (Accessed 5 January 2017).
7. National standard of Russian Federation 53291–2009. Portable and movable devices of fire extinguishing with high-velocity submission of fire quenching matters. General technical requirements. Test methods. Moscow, Standartinform Publ., 2009 (in Russian).
8. National standard of Russian Federation 51017–2009. Fire engineering. Wheeled fire extinguishers. General technical requirements. Test methods. Moscow, Standartinform Publ., 2009 (in Russian).
9. Official site of IRTIS Ltd. Available at: <http://www.irtis.ru/> (Accessed 5 January 2017).

For citation: Melnikov V. S., Kirillov S. V., Melnikov M. V., Shcherbakov M. I., Garskov R. V. Tactical thermography of fire extinguishing process by the device using high speed flow of fire extinguishing agent. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 51–59. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.51-59.

А. Л. ДУШКИН, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, старший научный сотрудник, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4)

С. Е. ЛОВЧИНСКИЙ, инженер, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4; e-mail: Lovchinskiy@inbox.ru)

Н. Н. РЯЗАНЦЕВ, старший научный сотрудник, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет) (Россия, 125993, г. Москва, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4; e-mail: n-r-60@mail.ru)

М. Д. СЕГАЛЬ, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (Россия, 115191, г. Москва, ул. Б. Тульская, 52; e-mail: nag@ibrae.ac.ru)

УДК 614.841

ОСОБЕННОСТИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Освещены вопросы, связанные с возможностью объемного пожаротушения тонкораспыленной водой. Показаны основные особенности движения мелких капель воды в турбулентной среде при наличии в объеме продуктов горения от очага и капельного потока от распылителя. Приведены выражения для турбулентной диффузии и миграции мелких капель в турбулентных потоках. Показано, что эти явления характерны для капель с заутеровским диаметром менее 90 мкм. Проведены экспериментальные исследования по тушению очагов в замкнутом объеме, которые подтвердили правомочность предсказанных явлений.

Ключевые слова: тонкораспыленная вода; диффузия; миграция; осаждение; пожаротушение.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.60-69

Известно, что объемное пожаротушение в замкнутом помещении характерно для газовых систем, несмотря на то что наиболее эффективные газовые (хладоновые) составы имеют плотность, превосходящую плотность окружающего воздуха, что приводит к существенному расслоению смеси. Кроме того, производители газодисперсных систем (а иногда и порошковых) декларируют их способность защищать все предметы, находящиеся в герметизированном объеме с малой степенью негерметичности (не более 5...10 %).

Возможность объемного пожаротушения тонкораспыленной водой (ТРВ) зачастую ставится под сомнение, хотя экспериментально доказано наличие такого эффекта у мелких водяных капель [1].

Кроме того, во многих работах, освещающих вопросы, связанные с ТРВ, наблюдается определенное непонимание в отношении такого понятия, как диаметр частиц полидисперсного капельного потока. Для характеристики “диаметр капель” необходимо использовать некие статистически усредненные размеры, которые приведены в известных работах [2].

Для обоснования возможности применения ТРВ для тушения очагов возгорания в объеме без непосредственного направления капельной струи в зону горения необходимо рассмотреть поведение мелких капель в газовом объеме, характеризующемся наличием источников газовой выделения (продуктов горения) и вихревого движения, создаваемого распыленным потоком жидкости (воды).

Распространение генерируемых форсунками капель жидкости в объеме не может быть описано какими-либо простыми кинематическими законами, вытекающими из уравнений траектории движения частицы под действием начального импульса, сопротивления окружающего газа и силы тяжести. Как будет показано ниже, особенно сложное движение характерно для очень мелких капель, которые увлекаются турбулентным движением массы окружающего воздуха. Заметим, что при достаточно развитом пожаре в газовом объеме из-за эжектирующего эффекта окружающий газ будет увлекаться горячими газовыми продуктами горения и тем самым создавать мощное вихревое движение во всем

объеме, и особенно в пристеночных областях, на потолке и в углах помещения. Значения скоростей таких потоков по данным многих исследователей сильно разнятся, но не выходят из диапазона $U_{п.п} = 2 \dots 10$ м/с. Такие скорости соответствуют скоростям крупномасштабных вихрей в развитом турбулентном потоке характерного размера. Подача высокоскоростного потока капель также за счет эжекции создает дополнительно вихревое движение в газовом объеме. В работе [3] оговаривается, что напор потока больших капель ($d > 1$ мм) превращается в кинетическую энергию воздушного потока не более чем на 50 %. Очевидно, что тонкораспыленные потоки передают газовой среде еще меньшее количество начальной энергии капель. Капли диаметром менее 20 мкм быстро теряют свою начальную скорость, а кинетическая энергия диссипируется в тепло. Без рассмотрения закономерностей движения капель в турбулентном вихреобразном потоке невозможно объяснить объемное пожаротушение очагов возгорания малыми каплями воды.

Рассмотрим движение частиц, вовлекаемых в пульсационное движение газа с отставанием по фазе и амплитуде и совершающих вместе с ним интенсивное диффузионное перемещение в объеме.

Наличие весьма значительных градиентов осредненной скорости газа и ее пульсационных составляющих вблизи потоков газообразных продуктов горения вызывает появление эффектов миграции и скольжения частиц относительно газа. Здесь существенную роль играет размер частиц. По названным причинам распределение концентрации частиц в объеме распыления, очевидно, будет отличаться от распределения частиц в ламинарном потоке газа. Как показано в работах российских и зарубежных исследователей, при турбулентном режиме течения газа скорость осаждения частиц на стенках труб и каналов в большинстве случаев на порядки превосходит скорость броуновского осаждения тех же частиц при безвихревом движении газа и в противоположность последнему возрастает с повышением скорости газа [4]. Такой эффект можно приписать инерционной природе явления. Так, при значительном градиенте скорости течения газа либо у стенки, либо около мощного восходящего потока частицы в силу их инерционности имеют возможность проходить узкую градиентную зону почти без снижения скорости. Капли, попав в горячий поток газообразных продуктов горения, за счет испарения в нем увеличивают тепловой поток от очага, что в соответствии с законом Аррениуса нарушает тепловой баланс процесса горения и приводит к затуханию горения, особенно если увеличение оттока тепла превышает 20...30 % общего тепловыделения [3].

К сожалению, такой подход к процессу объемного пожаротушения с учетом турбулентной диффузии и миграции капель воды не отражен в известных публикациях как в России, так и за рубежом, что весьма существенно сдерживает распространение такой технологии пожаротушения. Использование чисто опытных результатов и зависимостей, полученных отдельными группами исследователей, навряд ли приведет к положительному результату при конкретном практическом использовании этой новой технологии из-за отсутствия правильных теоретических представлений о процессе взаимодействия частиц воды, взвешенных в турбулентном газовом поле, с очагом возгорания.

Турбулентное течение представляет собой особую форму движения газа, которая устанавливается в результате потери гидродинамической устойчивости движения, что приводит к хаотичным изменениям скорости во всех направлениях, пульсациям давления и беспорядочному перемешиванию пульсационных объемов (молей) газа между собой. При этом турбулентная диффузия газа превосходит по своей интенсивности обычную молекулярную (броуновскую) диффузию на несколько порядков. Причиной возникновения турбулентных пульсаций являются повторяющиеся бурные локальные выбросы массы газа из гидродинамически неустойчивых участков, где имеет место значительный сдвиг скорости течения. В традиционных потоках это происходит в пристеночных областях потока. Выбросы газа порождают вихри, уходящие в глубь потока и инициирующие, в свою очередь, появление новых вихревых молей. Масштаб первичных (основных) вихрей сравним в нашем случае с размером очага возгорания. Движение таких вихрей также оказывается неустойчивым и порождает более мелкие, вплоть до вихрей, для которых $Re < 1$ (где Re — число Рейнольдса; $Re = ul/\nu$; u — скорость газа в вихре; l — масштаб; ν — кинематическая вязкость окружающего газа). Движение здесь носит ламинарный характер, а вся энергия турбулентности переходит (диссипируется) в тепло. Вихри этого внутреннего масштаба движутся как одно целое с максимальной частотой пульсаций. Обычно при математическом описании турбулентного движения мгновенная скорость газа в рассматриваемой точке представляется как сумма осредненных скоростей: продольной по оси x — $\bar{U}$, поперечной по оси y — $\bar{Y}$ и тангенциальной по оси z — $\bar{W}$ — и скоростей пульсаций U' , Y' , W' :

$$\begin{aligned} U &= \bar{U} + U'; \quad Y = \bar{Y} + Y'; \\ W &= \bar{W} + W'. \end{aligned} \quad (1)$$

Интенсивность турбулентности I , которая является мерой величины пульсационной составляющей скорости, выражается как:

$$I = \frac{1/3 (\overline{U'^2} + \overline{Y'^2} + \overline{W'^2})^{0,5}}{\overline{U'}}; \quad (2)$$

$$I_x = \frac{(\overline{U'^2})^{0,5}}{\overline{U}}; \quad I_y = \frac{(\overline{Y'^2})^{0,5}}{\overline{U}}; \quad I_z = \frac{(\overline{W'^2})^{0,5}}{\overline{U}}, \quad (3)$$

где $\overline{U'}$, $\overline{Y'}$, $\overline{W'}$ — пульсационные составляющие скоростей по координатам x , y , z .

В тихой атмосфере I составляет 0,2 %, в пограничном слое и слое смешения — до 30...40 %.

Теоретически обоснованного аналитического описания закономерностей распределения составляющих пульсаций скорости в замкнутом объеме не существует. Имеются лишь некоторые эмпирические формулы для распределения пульсационных скоростей в трубах и каналах, да и то в ограниченном динамическом диапазоне [5].

Анализ экспериментальных результатов исследований позволил установить, что наиболее энергоемкими являются низкочастотные пульсации. Так, в цилиндрических каналах частоты пульсаций ω_E находятся в диапазоне 10...1000 рад/с. Однако частоты пульсаций, в которых происходит диссипация турбулентности, четко не определены. Средняя частота пульсаций соответствует средней скорости потока $f = kU_m$ (где $k = 0,1$ см⁻¹ для прямоугольного канала, $k = 0,0625$ см⁻¹ для прямоугольного объема; U_m — средняя скорость потока) [6].

В статистической теории турбулентности вводится понятие турбулентной диффузии, определяющее величину среднего квадратичного смещения частиц среды относительно первоначального положения. В большинстве случаев для больших отрезков времени это может быть описано законом случайных блужданий и по форме совпадать с выражением для молекулярной диффузии [7]:

$$y^2 = 2D_t \Delta t, \quad (4)$$

где y — поперечная координата;

D_t — коэффициент турбулентной диффузии газовой среды.

Движение мелких частиц в турбулентной среде отличается более высокой сложностью и интенсивностью по сравнению с безвихревой атмосферой. Это обусловлено тем, что мелкие капли реагируют на беспорядочные турбулентные движения среды и под их влиянием совершают пульсационные движения относительно молей газа и случайные стохастические перемещения. Этот процесс именуется турбулентной диффузией частиц [7]. Как ни странно, такой же характер носит оседание частиц под действием силы тяжести, при этом наблюдаются беспорядочные спуски и подъемы частиц [8]. При анализе движе-

ния частиц в турбулентном потоке предполагается, что их диаметр мал по сравнению с масштабом вихревых молей l ($d \ll l$), чему удовлетворяют капли размером $1 < d < 20$ мкм и частично — размером $20 < d < 90$ мкм [9]. Полагают, что обтекание частиц молями газа имеет вязкий характер, что обусловлено малостью числа Рейнольдса $Re_d = |U_{gp}|d/\nu < 1$ (где U_{gp} — скорость обтекания частиц; $U_{gp} = U - U_p$) и в большей степени соответствует частицам первой группы. В этом случае для гидродинамического сопротивления каплей движению в газообразной среде справедлив закон Стокса:

$$F_{сопр} = 3\pi\eta dU_{gp}, \quad (5)$$

где $F_{сопр}$ — сила сопротивления;

η — динамическая вязкость среды; $\eta = \nu\rho$;

ρ — плотность газообразной среды.

Среднее расстояние между частицами l_p можно принять равным не менее $20d$ или определить по формуле

$$l_p = 80d \sqrt[3]{\rho_p/c_m}, \quad (6)$$

где ρ_p — плотность частиц, г/см³;

c_m — массовая концентрация частиц, г/см³.

Массовая концентрация может быть выражена через объемную долю частиц в потоке β и их плотность: $c_m = \beta\rho_p$. Обычно $\beta < 10^{-4}$, тогда $l_p \geq 17,23d$. В этом случае можно считать, что капли не стесняют друг друга в ходе взаимных перемещений, не коагулируют и не дробятся.

Согласно Релею [10] капельная среда обладает псевдокристаллической структурой, которая сохраняется при движении и воздействии давления (до 20 МПа). В ансамбле частиц действует сила тяжести, под влиянием которой капли оседают со скоростью

$$V_g = \tau g, \quad (7)$$

где τ — время релаксации частиц.

Значение τ определяется по выражениям:

- для капель первой группы:

$$\tau = \frac{1}{18} \frac{\rho_p}{\eta} d^2; \quad (8)$$

- для капель второй группы:

$$\tau = m_p B, \quad (9)$$

где m_p — масса частицы;

B — подвижность среды, определяемая в большинстве случаев экспериментально; $B = U_{gp}/F$.

Полное уравнение движения жидкой сферической частицы приведено во многих монографиях, в том числе в [8]. В настоящей работе целесообразно использовать более простые зависимости, которые позволят оценить влияние движения частиц в турбулентной среде на вероятность достижения ими

зоны горения. В этом случае уравнение движения частицы сводится к наиболее простому виду:

$$\frac{dU_p}{dt} + \tau^{-1}U_p = \tau^{-1}U - g, \quad (10)$$

где U_p — скорость частицы.

Можно представить изменение скорости газа во времени в виде гармонической зависимости:

$$U = \bar{U} + U' \sin \omega t, \quad (11)$$

где ω — частота пульсаций.

Подставив это выражение в уравнение (10), без силы тяжести получим:

$$\frac{dU_p}{dt} + \tau^{-1}U_p = \tau^{-1}(\bar{U} + U' \sin \omega t). \quad (12)$$

Решением этого линейного уравнения будет являться сумма решений для двух слагаемых в правой части уравнения (12):

$$U_p^{(1)} = \bar{U}(1 - e^{-t/\tau}) + U_{p0}e^{-t/\tau}; \quad (13)$$

$$U_p^{(2)} = \frac{U' \sin(\omega t - \varphi)}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} + \frac{\omega \tau U'}{1 + \omega^2 \tau^2} e^{-t/\tau} + U_{p0}e^{-t/\tau}, \quad (14)$$

где U_{p0} — начальная скорость частицы;

φ — угол сдвига фазы движения частицы.

Начальные условия: $t = 0$, $U_p = U_{p0}$.

Наличие угла сдвига фазы движения частицы $\varphi = \arctg \omega \tau$ объясняется инерционностью последней. Для мелких капель экспоненциальные члены быстро затухают, и их можно отбросить. Тогда получим:

$$U_p = \bar{U} + \mu_p U' \sin(\omega t - \varphi), \quad (15)$$

где μ_p — степень увлечения частицы газом;

$$\mu_p = 1/(1 + \omega^2 \tau^2)^{0.5}.$$

Из уравнения (15) следует, что в турбулентной среде частица приобретает сдвинутую по фазе пониженную пульсационную скорость газа. Заметим, что степень увлечения частицы μ_p равна отношению амплитуд пульсационных скоростей капли U'_p и среды U' : $\mu_p = U'_p/U'$. Зависимость степени увлечения частиц от их размера приведена на рис. 1.

Из уравнений (12)–(15) видно, что жидкая частица, взвешенная в турбулентном потоке, тем полнее следует за пульсациями газа, чем меньше ее размер и плотность, больше вязкость газа и ниже частота его пульсаций.

Для частот с индексом инерционности $\omega \tau \gg 1$ пульсационная составляющая незначительна, и уравнение в соответствии с (13) приобретает вид:

$$U_p = \bar{U}(1 - e^{-t/\tau}). \quad (16)$$

На установившейся стадии движения ($t \gg \tau$) это приводит к равенству $U_p = \bar{U}$ при $U_{p0} = 0$ и $\bar{U} = 0$.

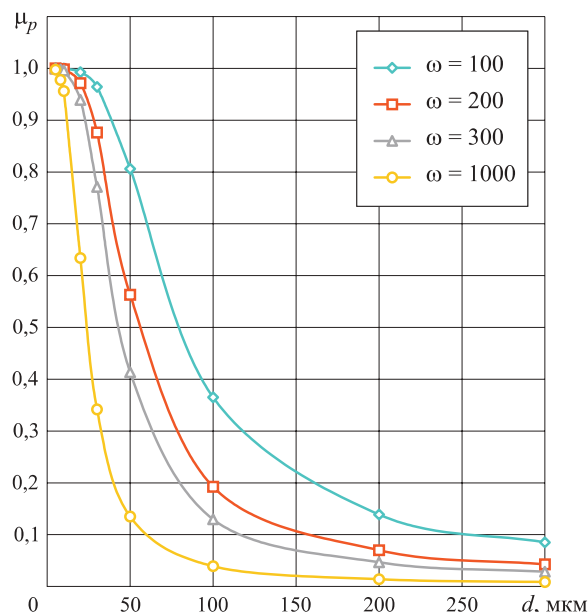


Рис. 1. Зависимость степени увлечения капель от их размера

Длина свободного инерционного пробега капли в неподвижном газе L_p определяется путем интегрирования по времени уравнения (15) при $U_p = U_{p0}$ и $t = 0$:

$$L_p = U_{p0} \tau. \quad (17)$$

На этом расстоянии начальная скорость капель, с которой жидкость выходит из распылителя, полностью нивелируется. Так, для частиц диаметром $d = 10$ мкм время релаксации $\tau = 3,06 \cdot 10^{-4}$ с. Тогда при начальной скорости капли $U_{p0} = 100$ м/с получим $L_p = 3$ см. Для частиц диаметром $d = 100$ мкм время релаксации $\tau = 2,55 \cdot 10^{-2}$ с и при той же начальной скорости длина свободного инерционного пробега L_p составит 2,55 м.

Из приведенного примера видно, что направленное тушение тонкодисперсным потоком капель с $d = 10$ мкм не представляется возможным даже при их начальной скорости $U_{p0} = 100$ м/с и, следовательно, при давлении подачи $\Delta p \geq 5$ МПа.

Относительно коэффициента диффузии частиц можно заключить следующее. При степени увлечения частиц пульсирующей средой μ_p частицы обладают в μ_p раз меньшей амплитудой на каждом шаге, что ведет к зависимости [11]:

$$D_{tp} = \mu_p^2 D_t, \quad (18)$$

где D_{tp} — коэффициент турбулентной диффузии частиц.

Заметим, что по сравнению с броуновской диффузией коэффициент турбулентной диффузии превышает его на порядки [11]. Гравитационное осаждение частиц приводит к увеличению их концентрации по мере снижения, но турбулентная диффузия уменьшает этот эффект за счет беспорядочных подъемов

молей газа с частицами. Эффект обратной диффузии снижает скорость осаждения по сравнению со спокойной средой. Для грубодисперсного потока названный выше эффект отсутствует. Как показано в работе [4], наложение пульсаций на газовую среду приводит к заметному уменьшению скорости осаждения надстоксовских частиц, когда амплитуда пульсационных скоростей сравнима со скоростью оседания частиц в неподвижной среде. Наличие градиентного течения газа вызывает движение частиц жидкости среднего размера ($100 \geq d \geq 20$ мкм). Средняя скорость частиц отстает от скорости газа и его турбулентных молей, причем различие в скоростях ощутимо. Так, для частиц с $d = 20 \dots 40$ мкм оно составляет $1,5 \dots 2,0$ м/с, а для частиц с $d = 60 \dots 100$ мкм — увеличивается до $8 \dots 10$ м/с.

Для цилиндрических каналов с многофазным потоком может быть использована формула из работы [8]:

$$\frac{U_p}{U} = \left(0,9 + 0,85 \frac{d}{D} \sqrt{\text{Re}_D} \right)^{-1}, \quad (19)$$

где U — средняя (расходная) скорость в канале с гидравлическим диаметром D ;

$$\text{Re}_D = UD/\nu.$$

В градиентном течении возникает дополнительная сила, определяемая эффектом Магнуса [8]. Наличие градиента в газовом течении вызывает различие в скоростях обтекания частицы справа и слева, что ведет к вращению капли. Поперечная сила Магнуса возникает за счет падения давления со стороны, где сумма составляющих скоростей вращения и обтекания достигает максимума, и направлена в сторону этого максимума. С учетом осаждения капли около подъемного течения горячих газов сила Магнуса направлена в сторону этого течения. Расчеты по известным зависимостям [4] демонстрируют существенные скорости миграции по Магнусу только для капель размером $50 \dots 100$ мкм. Из этого вытекает, что достаточно крупные частицы $d = 100 \dots 150$ мкм могут лишь частично принимать участие в объемном пожаротушении.

В градиентном поле поперечных пульсаций газовой среды возникает еще одна форма поперечного движения частиц — турбулентная миграция. Наличие градиента скорости пульсаций газа dY'/dy приводит к существованию конвективного ускорения частиц газа в поперечном направлении [12]:

$$a = \frac{dY'}{dt} = \frac{dY'}{dy} \frac{dy}{dt} = \frac{dY'}{dy} Y' = \frac{1}{2} \frac{dY'^2}{dy}. \quad (20)$$

Жидкая частица массой m_p обладает инерционной силой $m_p a$, что справедливо для мелких частиц воды ($d \leq 30$ мкм), легко увлекаемых средой. Приравняв эту силу к силе сопротивления по Стоксу,

нетрудно получить значение скорости поперечного перемещения капли:

$$V_m = -\frac{1}{2} \tau \frac{dY'^2}{dy}. \quad (21)$$

Базируясь на приеме аналитического решения задачи турбулентной миграции частиц, изложенного в общем виде в классической работе Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица [12], можно получить уравнение для смещения частицы, которое содержит, кроме гармонических составляющих, непериодическую составляющую, определяющую наличие движения частиц (миграции) в направлении, противоположном знаку градиента пульсационной скорости среды. Движение частицы в газообразной среде следует за ее пульсациями с тем или иным отставанием по фазе и амплитуде, т. е. асимметрично, но с непрерывным избытком скорости в сторону меньших значений пульсационной скорости среды [12].

Рассмотрение закономерностей движения частиц можно использовать для оценки скорости миграции за счет пульсации среды. Такая оценка проведена при $\nu = 0,15 \text{ см}^2/\text{с}$ (воздух), плотности частиц $\rho_p = 1 \text{ г/см}^3$ (вода) и степени увлечения $\mu_p \approx 1$ (частицы размером не более 20 мкм) по формуле

$$V_m/V_s = 10^{-4} \bar{\mu}_p^2 U_*^3, \quad (22)$$

где V_s — скорость осаждения частиц;

U_* — скорость газа в макровихрях (динамическая скорость газа), см/с.

При скорости в энергоемких вихрях в диапазоне $0,3 \dots 3,0$ м/с для частиц воды диаметром $d < 10$ мкм $V_m/V_s = 3 \dots 3 \cdot 10^3$ [4]. Еще раз следует подчеркнуть, что это соответствует почти полному увлечению частиц, которому отвечает $\mu_p \approx 1$.

Оценочные расчеты показывают, что превышение скорости миграции V_m над скоростью осаждения V_s значительно уменьшается для частиц грубодисперсного потока воды в турбулентной воздушной среде. Так, для частиц диаметром 20 мкм эти скорости почти равны ($\sim 1,2$ см/с), а скорость осаждения частиц воды диаметром 120 мкм превосходит скорость миграции более чем в два раза ($V_s \approx 40$ см/с). Из этого становится понятным, что частицы диаметром более 100 мкм не способны обеспечить объемного пожаротушения, так как они быстро оседают.

Отметим, что вышерассмотренное явление возникает при вертикальном движении потоков. В общем случае осаждение непрерывно меняет поперечную координату мигрирующих частиц, а с ней меняется и скорость миграции.

Однако имеет место сильное расхождение теоретических значений скорости диффузионного осаждения в турбулентном потоке с опытными данными, которые демонстрируют большие скорости осажде-

ния. Турбулентная миграция частиц обладает высокой интенсивностью и не равна нулю у стенки в противоположность коэффициенту диффузии частиц. Таким образом, турбулентная миграция частиц в турбулентной среде определяет способность тонкораспыленного потока защищать ограждающие стенки, в том числе вертикальные поверхности различных предметов, от воздействия горячих газообразных продуктов горения.

Изменение концентрации частиц c^* по вертикали выражается экспоненциальной зависимостью

$$c^* = c_0 \exp - \frac{p}{S} \frac{V_t}{U_m} L, \quad (23)$$

где p , S — периметр и площадь поперечного сечения ограниченного объема;

L — расстояние от источника капель по вертикали;

V_t — средняя скорость осаждения.

С использованием аналогичного выражения в работе [7] получена зависимость для общего количества частиц, осаждающихся на стенки:

$$G = V_t S c_{cp} t, \quad (24)$$

где c_{cp} — средняя концентрация частиц по L .

При выводе выражений (22)–(24) механизм осаждения не оговаривался, поэтому они применимы для оценки количества ушедших из потока капель воды. Скорость осаждения частиц воды в общем

случае зависит от диаметра частиц, скорости и вязкости газа. Если для трубы или иного канала скорость газа определяется однозначно, то для замкнутого объема с очагом горения и потоком капель такое определение затруднено. При этом необходимо учитывать, что прямые экспериментальные данные, подтверждающие положение турбулентно-миграционной модели, отсутствуют.

Однако можно предположить, что скорость осаждения определяется исключительно скоростью макровихрей $V_t/U_* \cong 0,2$ и не зависит от размера частиц, начиная с диаметра 5 мкм и выше.

Если оценить это по порядку величин, то это заключение относится к высокочастотным пульсациям ($\omega_E \tau > 1$): для частиц воды с $d < 20$ мкм — $\omega > 10^4$ рад/с ($f = 1,6 \cdot 10^3$ Гц), с $d \sim 100$ мкм — $\omega > 10^2$ рад/с ($f = 16$ Гц). Обычно динамическая скорость газа U_* по расчетам не превосходит 4 м/с, а следовательно, скорость осаждения не превышает 0,8 м/с, что почти соответствует скорости гравитационного осаждения частиц воды размером $d \sim 200$ мкм, т. е. для грубодисперсного потока эффект турбулентно-миграционного осаждения можно не учитывать.

На практике можно использовать результаты изучения явлений при движении мелких частиц воды в турбулентном потоке, представленные в табл. 1.

Эффекты, связанные с наличием термофоретической силы, температурного градиента, а также элект-

Таблица 1. Наличие и условия существования эффектов в турбулентном потоке

Эффект	Диаметр частиц, мкм	Условия существования	Примечания
Турбулентная диффузия $D_{tp} = \mu_p^2 D_t$	$d \leq 40$	$0,1 < D_{tp}/D_t < 1$, $\mu_p^2 \geq 0,1$, $\mu_p \geq 0,31$ при $\omega = 100 \dots 1000$ рад/с	На периферии струй значение D_{tp} возрастает, а следовательно, увеличивается и предельный диаметр
Осаждение под действием силы тяжести в пульсирующем потоке $V_{st} = \frac{V_s}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{V'}{V_s} \right)^2}$, где V_s — скорость осаждения в свободной среде; V' — пульсационная составляющая среды	$d \geq 80$	$Re_{pg} > 1$, $V' \geq V_s$	Скорость обтекания частицы $V_{pg} < 100$ м/с, $V_s = \tau g$
Эффект Магнуса, возникновение поперечной силы в случае вращения капли вокруг перпендикулярной оси	$150 > d > 50$	Градиентное течение среды (на периферии потока газов от пламени)	Сравнимо со скоростью осаждения при наличии пульсаций среды
Турбулентная поперечная миграция $\frac{V_m^{\max}}{U_s} = 1,5 \cdot 10^{-2} \mu_p^2 \frac{U_*^3}{g v}$	$d < 50$	$V_m > V_s$	$U_* \cong 30 \dots 300$ см/с
Турбулентно-миграционное осаждение $\frac{V_t}{U_*} \cong f \left(\frac{U_m}{D}, \frac{\tau U_*^2}{v} \right) \cong 0,2$, где D — гидравлический диаметр канала	$d < 200$	$\omega_E \tau > 1$	$\omega_E = U_m/D$

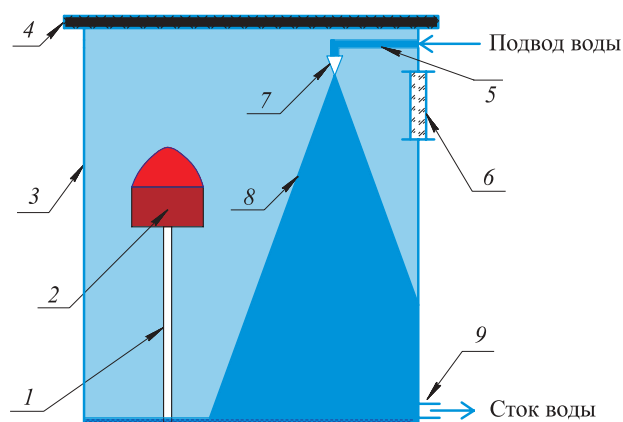


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 — подставка; 2 — модельный очаг; 3 — емкость; 4 — крышка емкости; 5 — подводный трубопровод; 6 — смотровое окно; 7 — распылитель; 8 — факел распыла распылителя; 9 — отводящий трубопровод

ризации частиц воды, существенны только для очень мелких частиц (радиус $r < 2$ мкм), поэтому они не рассматриваются.

Для исследования объемного тушения модельных очагов возгораний классов А и В была создана экспериментальная установка (рис. 2).

Установка включает в себя нержавеющий бак 3 размером $0,86 \times 0,605 \times 1,0$ м, вместимостью $0,52$ м³ и суммарной площадью поверхности $3,97$ м². В баке, снабженном крышкой 4 и имеющем подводный (5) и отводящий (9) трубопроводы, на стойке 1 размещали модельные очаги 2 возгораний классов А и В. На подводном трубопроводе устанавливали распылители 7. Визуализация экспериментального процесса осуществлялась через смотровое окно 6.

В ходе экспериментов проводилось попеременное тушение модельных очагов возгораний классов А и В распылителями объемного тушения. При этом визуально фиксировалось время тушения, по которому определялся требуемый расход воды.

В качестве модельных очагов класса В использовался круглый противень диаметром 180 мм (площадью $0,0254$ м²), в который на поверхность воды заливали 50 мл бензина. Свободное горение производилось в течение 60 с со снятой крышкой емкости. В качестве модельных очагов возгораний класса А использовался очаг из трех рядов брусков хвойных пород деревьев размером $30 \times 30 \times 150$ мм, уложенных в три слоя. Зажигание дерева осуществлялось с помощью поддонов с бензином в течение 120 с при снятой крышке емкости.

Для установления факта тушения очагов водой (а не за счет выгорания кислорода в объеме) предварительно проводились эксперименты по тушению очагов способом герметизации емкости. Так, очаг класса А после предварительного розжига в течение 120 с при снятой крышке емкости погас через

Таблица 2. Результаты испытаний по объемному тушению очагов классов А и В

Номер распылителя	$\dot{m}$, г/с	d_{32} , мкм	t_A , с	M_A , г	t_B , с	M_B , г
1	10,5	30,2	17	178	13	136,5
2	20	49,6	11	220	9	175
3	40	58,6	15	600	13	520
4	61	71,2	15	915	14	848
5	106	82,6	11	1166	9	976

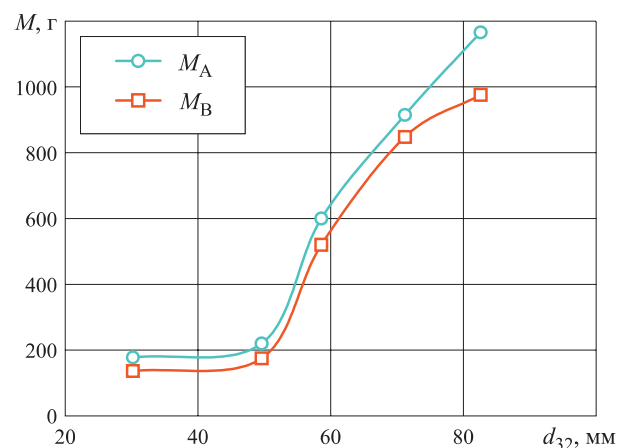


Рис. 3. Экспериментальная зависимость требуемого для тушения очагов А и В количества воды от заутеровского диаметра капель

70 с после ее закрытия, а очаг класса В после предварительного разгара в течение 60 с также при снятой крышке емкости — через 60 с.

В ходе экспериментов после свободного розжига очагов крышку емкости закрывали, проводили запуск распылителя и визуально определяли время гашения очагов класса А (t_A) и класса В (t_B). Результаты испытаний приведены в табл. 2, в которой представлены пять видов распылителей, расход воды $\dot{m}$ через распылитель при рабочем давлении, заутеровский средний диаметр d_{32} капель факела воды при рабочих характеристиках распылителя, время тушения очагов t_A и t_B и количество воды, израсходованное на тушение очага класса А — $M_A = \dot{m} t_A$ и класса В — $M_B = \dot{m} t_B$.

На рис. 3 представлена экспериментальная зависимость потребного количества воды для тушения очагов класса А и В от заутеровского среднего диаметра капель факела воды d_{32} .

Из графика видно, что при превышении заутеровского среднего диаметра капель факела воды $d_{32} = 50$ мкм резко увеличивается потребное для объемного тушения количество воды, что и было определено (см. табл. 2). Кроме того, следует заметить, что время тушения во всех экспериментах оказыва-

лось несколько больше времени установления постоянной концентрации капель в объеме.

В заключение можно отметить следующее. Рассмотрение движения мелких капель воды в турбулентной газовой среде позволяет выявить процессы, способствующие тушению очагов возгорания во всем замкнутом объеме без непосредственного воздействия потока капель из распылителя на очаг возгорания. Основными процессами при этом яв-

ляются: турбулентная диффузия, турбулентная миграция и турбулентно-миграционное осаждение, которые характерны для капель с $d_{32} \leq 50$ мкм. Проведенные экспериментальные исследования на очагах классов А и В подтвердили правомерность существования названных выше эффектов и обосновали возможность объемного пожаротушения тонкораспыленной водой при размерах капель $d_{32} = 20 \dots 90$ мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Душкин А. Л., Ловчинский С. Е. Взаимодействие пламени горючей жидкости с тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 11. — С. 53–55.
2. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численная оценка оптимальных размеров капель воды в условиях ее распыления средствами пожаротушения в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 74–78.
3. Иванов Е. Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты. — М. : Химия, 1990. — 384 с.
4. Терехов В. И., Пахомов М. А. Теплоперенос и гидродинамика в газокapельных потоках. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. — 284 с.
5. Guildenbecher D. R., Sojka P. E. Experimental investigation of aerodynamic fragmentation of liquid drops modified by electrostatic surface charge // Atomization and Sprays. — 2011. — Vol. 21, No. 2. — P. 139–147. DOI: 10.1615/AtomizSpr.2011003299.
6. Laufer J. The structure of turbulence in fully developed pipe flow // NACA Report 1174, 1954. — P. 417–434. URL: <http://naca.central.cranfield.ac.uk/reports/1954/naca-report-1174.pdf> (дата обращения: 10.01.2017).
7. Андриюшкин А. Ю., Пелех М. Т. Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 64–69.
8. Yoshida A., Udagawa T., Momoto Y., Naito H., Saso Y. Experimental study of suppressing effect of fine water droplets on propane/air premixed flames stabilized in the stagnation flowfield // Fire Safety Journal. — 2013. — Vol. 58. — P. 84–91. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.01.025.
9. Yoshida A., Kashiwa K., Hashizume S., Naito H. Inhibition of counterflow methane/air diffusion flame by water mist with varying mist diameter // Fire Safety Journal. — 2015. — Vol. 71. — P. 217–225. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.11.030.
10. Ryley D. J. Review: The thermodynamic and mechanical interaction of water globules and steam in the wet steam turbine // International Journal of Mechanical Sciences. — 1962. — Vol. 4, No. 5. — P. 447–462. DOI: 10.1016/s0020-7403(62)80030-7.
11. Коровина Н. В. Создание аэрозольных сред с помощью автономных распылительных устройств, их эволюция и распространение в замкнутых объемах : дис. ... канд. физ.-мат. наук / Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН. — Бийск, 2014.
12. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика сплошных сред. — М. : Гостехиздат, 1954.

Материал поступил в редакцию 17 января 2017 г.

Для цитирования: Душкин А. Л., Ловчинский С. Е., Рязанцев Н. Н., Сегаль М. Д. Особенности пожаротушения в замкнутом объеме тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 3. — С. 60–69. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.60-69.

English

ENCLOSURE FINELY-DISPERSED WATER FIRE FIGHTING FEATURES

DUSHKIN A. L., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Senior Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, Moscow, GSP-3, 125993, Russian Federation)

LOVCHINSKIY S. E., Engineer, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, Moscow, GSP-3, 125993, Russian Federation; e-mail: Lovchinskiy@inbox.ru)

RYAZANTSEV N. N., Senior Researcher, Moscow Aviation Institute (National Research University) (Volokolamskoye Shosse, 4, Moscow, GSP-3, 125993, Russian Federation; e-mail: n-r-60@mail.ru)

SEGAL M. D., Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (Bolshaya Tulkaya St., 52, Moscow, 115191, Russian Federation; e-mail: nag@ibrae.ac.ru)

ABSTRACT

Enclosure fire fighting by finely-dispersed water capability without direct water droplet flow effect from a sprayer upon a fire is shown. Fire fighting requirement droplet flow investigation experience points at successful application of Zauter's diameter (volume of all droplets to their surface relation) while describing the results of experimental studies and theoretical calculations. With presence of enclosure eddy medium motion on account of ascending combustion product flow and interaction with a sprayer droplet flow in a finely-dispersed droplet ensemble there appear eddy diffusion, migration, deposition, and Magnus effect phenomena. With turbulent gas flow mode the particle deposition velocity on pipe and channel walls in most cases surpasses Brownian deposition velocity of the same particles in eddy-free motion. The above phenomena are typical of fine droplets up to 150 μm in Zauter's diameter. Droplets of 200 μm and larger diameter are not subjected to eddy gas motion effect, just depositing under force of gravity and initial impulse. A particle motion in gaseous medium follows its pulsations with this or that phase or amplitude lagging, i. e. asymmetrically, but with certain velocity excess to the side of lower magnitudes of pulsating medium velocity. Fine water droplet motion study in eddying gaseous medium allows to reveal processes facilitating fire suppression in the whole enclosure without direct water droplet flow effect from a sprayer upon a fire. The experimental studies performed on enclosure Class A and B fire suppression have demonstrated enclosure fire suppression capacity by finely-dispersed water with droplets of up to 50 μm in diameter that was predicted under theoretical consideration of fine droplets motion in eddying gas medium.

Keywords: finely-dispersed water; diffusion; migration; deposition; fire fighting.

REFERENCES

1. Dushkin A. L., Lovchinskiy S. E. Combustible liquid flame and water mist interaction. *Pozharovzryvo-bezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 11, pp. 53–55 (in Russian).
2. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical estimation of optimum sizes for water drops at the conditions of its dispersion by firefighting devices at placements. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 74–78 (in Russian).
3. Ivanov E. N. *Fire protection system design basis*. Moscow, Khimiya Publ., 1990. 384 p. (in Russian).
4. Terekhov V. I., Pakhomov M. A. *Heat-and-mass transfer and hydrodynamics in gas-drop streams*. Novosibirsk, NSTU Publ., 2009. 284 p. (in Russian).
5. Guildenbecher D. R., Sojka P. E. Experimental investigation of aerodynamic fragmentation of liquid drops modified by electrostatic surface charge. *Atomization and Sprays*, 2011, vol. 21, no. 2, pp. 139–147. DOI: 10.1615/AtomizSpr.2011003299.
6. Laufer J. The structure of turbulence in fully developed pipe flow. *NACA Report 1174*, 1954, pp. 417–434. Available at: <http://naca.central.cranfield.ac.uk/reports/1954/naca-report-1174.pdf> (Accessed 10 January 2017).
7. Andryushkin A. Yu., Pelek M. T. Efficiency of the stewing fire by sprayed water. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere (Problems of Technosphere Risk Management)*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 64–69 (in Russian).
8. Yoshida A., Udagawa T., Momomoto Y., Naito H., Saso Y. Experimental study of suppressing effect of fine water droplets on propane/air premixed flames stabilized in the stagnation flowfield. *Fire Safety Journal*, 2013, vol. 58, pp. 84–91. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.01.025.

9. Yoshida A., Kashiwa K., Hashizume S., Naito H. Inhibition of counterflow methane/air diffusion flame by water mist with varying mist diameter. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 71, pp. 217–225. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.11.030.
10. Ryley D. J. Review: The thermodynamic and mechanical interaction of water globules and steam in the wet steam turbine. *International Journal of Mechanical Sciences*, 1962, vol. 4, no. 5, pp. 447–462. DOI: 10.1016/s0020-7403(62)80030-7.
11. Korovina N. V. *Aerosol media development by means of independent spray devices, their evolution and propagation in closed volumes*. Cand. phys. and math. sci. diss. Biysk, 2014 (in Russian).
12. Landau L. D., Lifshits E. M. *Solid media mechanics*. Moscow, Gostechisdat, 1954 (in Russian).

For citation: Dushkin A. L., Lovchinskiy S. E., Ryazantsev N. N., Segal M. D. Enclosure finely-dispersed water fire fighting features. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 60–69. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.60-69.

**Евдокимов В. И.,
Поташев Д. А.,
Коробейникова Е. Г.**

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ И ПРЕКРАЩЕНИЯ ГОРЕНИЯ: Аннотированный указатель отечественных патентов на изобретения (1994–2015 гг.) /

Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А. М. Никифорова МЧС России,
С.-Петерб. ун-т Гос. противопожар. службы МЧС России.
— СПб. : Политехника сервис, 2016. — 189 с.

**ISBN 978-5-906841-72-8.
Тираж 100 экз.**



Представлены библиографические записи и рефераты 495 отечественных патентов на изобретения по физико-химическим основам развития и прекращения горения, зарегистрированных в Федеральной службе по интеллектуальной собственности Российской Федерации (Роспатент) в 1994–2015 гг. Объектом поиска изобретений явилась электронная база данных Федерального института промышленной собственности Роспатента (<http://www1.fips.ru>). Патенты в указателе расположены по тематическим рубрикам. Библиографическая запись приведена по ГОСТ 7.1–2003. Вспомогательный аппарат: нумерационный указатель.

Н. П. КОПЫЛОВ, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

В. И. ГОРШКОВ, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

С. Н. КОПЫЛОВ, д-р техн. наук, начальник центра автоматических установок обнаружения и тушения пожаров, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

Д. В. ФЕДОТКИН, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела специальных исследований, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: fdv982@mail.ru)

УДК 614.841.125:614.844.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА В РЕЗЕРВУАРАХ ПЕНОЙ

Рассматриваются процессы, происходящие у борта резервуара во время тушения горючей жидкости пеной после того, как большая часть зеркала жидкости покрывается огнетушащим слоем пены. Приведен анализ двух случаев, необходимых для тушения оставшихся очагов горения у борта резервуара: охлаждения свободного борта резервуара до температуры, при которой нагретый пламенем борт перестает служить источником зажигания паров топлива, и понижения температуры горючей жидкости до температуры, при которой уже не происходит воспламенения горючей смеси. Для первого случая разработана математическая модель, описывающая изменение температуры при охлаждении борта резервуара в зависимости от времени, и получены с определенными допущениями аналитические решения. Предложено выражение, определяющее время тушения горючей жидкости, по которому с учетом имеющихся экспериментальных данных представлены расчетные значения коэффициента теплоотдачи. Для второго случая получено уравнение изменения температуры борта резервуара при охлаждении во время тушения горючей жидкости пеной.

Ключевые слова: пожаротушение; резервуар; время охлаждения; температура; математическое моделирование.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.70-76

Проблема тушения пожаров в резервуарах с нефтепродуктами по-прежнему остается достаточно острой, несмотря на более чем 50-летнюю историю попыток ее решить.

Для оценки эффективности той или иной технологии тушения пожаров необходимо учитывать различные эффекты, проявляющиеся при горении нефтепродуктов в резервуарах. Прежде всего, к таким эффектам относится взаимодействие пожара с атмосферой и прогрев стенки резервуара при пожаре. При тушении горючей жидкости в резервуаре пеной, после того как большая часть зеркала жидкости уже покрыта ее огнетушащим слоем, непосредственно у борта резервуара топливо продолжает гореть. Этот довольно сложный случай часто реализуется на практике, но в литературе описан недостаточно широко [1–3]. Тушение этих последних очагов горения достигается за счет:

- охлаждения свободного борта резервуара до температуры, при которой нагретый пламенем борт перестает служить источником зажигания паров топлива;
- понижения температуры горючей жидкости, расположенной у боковой поверхности резервуара, до температуры, при которой уже не происходит воспламенения горючей смеси, образующейся при смешении паров топлива с воздухом.

Рассмотрим первый случай — охлаждение свободного борта резервуара до температуры, при которой нагретый пламенем борт перестает служить источником зажигания паров топлива.

Будем считать, что после ликвидации пеной основного факела пожара начальная температура борта равна температуре пламени. Охлаждение борта происходит за счет передачи тепла в окружающее пространство по закону Ньютона. Вследствие малой

толщины стенок резервуара и высокой по сравнению с воздухом теплопроводностью не будем учитывать распределение температуры по толщине и высоте стенки. Тогда изменение температуры свободного борта может быть описано уравнением

$$c\rho V(dT/dt) = -\alpha S(T - T_0), \quad (1)$$

где c, ρ — теплоемкость и плотность материала резервуара;

V — объем свободного борта;

T, T_0 — текущая температура и температура окружающей среды;

t — время;

α — коэффициент теплоотдачи;

S — площадь охлаждения.

Начальным условием задачи будет

$$t = 0, \quad T = T_n, \quad (2)$$

где T_n — начальная температура свободного борта.

Перепишем уравнение (1) в виде

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{\alpha S}{c\rho V}(T - T_0). \quad (3)$$

Вычислим в (3) отношение S/V через средний радиус резервуара R_{cp} :

$$R_{cp} = \frac{R_0 + r_0}{2}, \quad (4)$$

где R_0, r_0 — внешний и внутренний радиусы стенки резервуара.

Тогда с учетом того, что свободный борт охлаждается с двух сторон, площадь охлаждения

$$S = 4\pi R_{cp} H, \quad (5)$$

где H — высота свободного борта.

Объем свободного борта резервуара определится выражением

$$V = 2\pi R_{cp} h H, \quad (6)$$

где h — толщина стенки резервуара.

Подставив (5) и (6) в (3) и разделив переменные, получим:

$$\int_{T_n}^T \frac{dT}{T - T_0} = -\int_0^t \frac{2\alpha}{c\rho h} dt. \quad (7)$$

Проинтегрируем (7):

$$t = \frac{c\rho h}{2\alpha} \ln \frac{T_n - T_0}{T - T_0}. \quad (8)$$

Если в качестве начальной температуры принять температуру пламени $T_{пл}$ и положить, что тушение пламени произойдет при температуре борта, равной температуре вспышки горючей жидкости $T_{всп}$, то необходимое время тушения t_t определится выражением

$$t_t = \frac{c\rho h}{2\alpha} \ln \frac{T_{пл} - T_0}{T_{всп} - T_0}. \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что чем интенсивнее теплообмен (чем больше α), тем быстрее будет завершен процесс подавления пламени пеной.

Величину коэффициента теплоотдачи можно вычислить с помощью известных критериальных уравнений для бесконечной пластины при естественном конвективном теплообмене. Однако следует иметь в виду, что для настоящей задачи на процесс отбора тепла от борта резервуара может оказывать влияние испарение слоя пены при контакте с нагретым бортом. Критериальных уравнений для подобного случая, вероятно, не существует, поэтому коэффициент теплоотдачи целесообразно определять по экспериментальным данным или на основе экспериментов попытаться получить необходимое критериальное уравнение.

В работе [4] приведены экспериментальные данные по прогреву борта резервуара и времени тушения пожара самовспенивающейся газоаэрозольно-наполненной пеной, подаваемой от установок импульсного пожаротушения. Время свободного горения в резервуаре (до начала тушения) составляло не менее 3 мин. Используя справочные и экспериментальные данные и подставив в (9) значения времени $t = 400$ с, плотности стали $\rho = 7800$ кг/м³, теплоемкости стали $c = 0,461 \div 0,673$ кДж/(кг·К), толщины стенки резервуара $h = 4$ мм, текущей температуры $T = 1373$ К и температуры окружающей среды $T_0 = 283$ К, получим коэффициент теплоотдачи $\alpha = 0,34 \div 0,51$ Вт/(м²·К).

Рассмотрим второй случай — понижение температуры горючей жидкости, расположенной у боковой поверхности резервуара, до температуры, при которой уже не происходит воспламенения горючей смеси, образующейся при смешении паров топлива с воздухом.

При решении задачи об охлаждении резервуара, как и в предыдущем случае, будем считать, что теплообмен с окружающей средой происходит непосредственно с боковой поверхности жидкости. Глубина охлаждения представляет собой слой жидкости, расположенный непосредственно у борта резервуара. Его толщина значительно меньше радиуса резервуара, поэтому задача охлаждения резервуара в тепловом отношении может быть сведена к охлаждению тела неограниченных размеров (однородное тело, ограниченное бесконечной плоскостью $x = 0$ и простирающееся в бесконечность в положительном направлении оси x) [5]. Поскольку тепло в направлении осей y и z не распространяется, производные по этим координатам равны нулю. При отсутствии источников тепла в рассматриваемом пространстве уравнение теплопроводности и условия однозначности можно записать в следующем виде:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (10)$$

где a — температуропроводность горючей жидкости.
Начальным условием задачи будет

$$T = T_n \text{ при } t = 0. \quad (11)$$

На границе тела поток тепла, отбираемый в окружающее пространство путем конвекции, равен потоку тепла, передаваемого ему путем теплопроводности:

$$x = 0, \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T - T_0), \quad (12)$$

где λ — коэффициент теплопроводности.

В процессе охлаждения температура поверхности T_s изменяется с течением времени, поэтому вторым граничным условием можно записать

$$x = 0, T = T_s. \quad (13)$$

Введем величину $\delta(t)$, представляющую собой глубину охлаждаемого слоя, которая обладает важным свойством. Для всех значений $x > \delta(t)$ можно считать, что температура тела равна его начальной температуре ($T = T_n$) и тепло не распространяется за пределы прогретого слоя ($\partial T / \partial x = 0$). При этом глубина слоя непрерывно меняется с течением времени.

С учетом этого необходимыми для задачи граничными условиями будут:

$$x = \delta, T = T_n; \quad (14)$$

$$x = \delta, \partial T / \partial x = 0. \quad (15)$$

Трудности, с которыми приходится встречаться при непосредственном интегрировании уравнений математической физики, а также громоздкость и сложность получаемых при этом выражений побуждают искать приближенные, более простые пути решения этих задач. В связи с этим широкое распространение в литературе получили методы исследований физических процессов с помощью интегральных соотношений, вытекающих из анализа дифференциальных уравнений [6–10].

Умножив каждый член уравнения (10) на dx и проинтегрировав его в пределах от $x = 0$ до $x = \delta$, получим уравнение, называемое интегралом теплового баланса [11]:

$$\int_0^{\delta} \frac{\partial T}{\partial t} dx = a \int_0^{\delta} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx. \quad (16)$$

Соответствующее выражение для левой части уравнения (10) найдем с помощью правила дифференцирования под знаком интеграла, когда пределы интеграла зависят от времени (правило Лейбница) [12]:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_{\alpha(t)}^{\beta(t)} f(x, t) dx &= \int_{\alpha(t)}^{\beta(t)} \frac{\partial f(x, t)}{\partial t} dx + \\ &+ f[\beta(t), t] \frac{d\beta(t)}{dt} - f[\alpha(t), t] \frac{d\alpha(t)}{dt}. \end{aligned} \quad (17)$$

В нашем случае верхний предел интегрирования $\beta(t) = \delta(t)$, а нижний — $\alpha(t) = 0$, поэтому на основании уравнения (17) будем иметь:

$$\int_0^{\delta} \frac{\partial T}{\partial t} dx = \frac{d}{dt} \int_0^{\delta} T(x, t) dx - T(\delta, t) \frac{d\delta}{dt}. \quad (18)$$

Проинтегрируем правую часть уравнения (10):

$$\int_0^{\delta} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx = \int_0^{\delta} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) dx = \frac{\partial T(\delta, t)}{\partial x} - \frac{\partial T(0, t)}{\partial x}. \quad (19)$$

Равенство (19) является математической формулировкой интегрального теплового баланса для рассматриваемой задачи.

Подставив уравнения (18) и (19) в (16), с учетом граничного условия (15) получим:

$$\frac{d}{dt} \int_0^{\delta} T(x, t) dx - T_n \frac{d\delta}{dt} = -a \frac{\partial T(0, t)}{\partial x}. \quad (20)$$

Выражение (20) содержит две неизвестные функции T и δ . Первая представляет собой распределение температуры по толщине охлаждаемого слоя, вторая — изменение толщины указанного слоя с течением времени. В связи с этим первую из неизвестных функций T необходимо задавать заранее.

Определим распределение температур внутри слоя δ в виде полинома второй степени:

$$T = \beta_0 + \beta_1(\delta - x) + \beta_2(\delta - x)^2. \quad (21)$$

Коэффициенты полинома (21) β_0, β_1 и β_2 найдем с помощью граничных условий (13)–(15). При этом важно отметить, что эти коэффициенты являются функцией только времени и не зависят от координаты.

Из условия (14) находим, что

$$\beta_0 = T_n. \quad (22)$$

Дифференцируя (21) по x , с учетом (15) получим:

$$\beta_1 = 0. \quad (23)$$

Тогда распределение температуры (21) можно записать в виде уравнения

$$T = T_n + \beta_2(\delta - x)^2. \quad (24)$$

Подставив в (24) условие (13), коэффициент полинома β_2 определим в виде

$$\beta_2 = -\frac{T_n - T_s}{\delta^2}. \quad (25)$$

Тогда распределение температур (24) запишем в виде формулы

$$T = T_n - \frac{T_n - T_s}{\delta^2} (\delta - x)^2. \quad (26)$$

Задача будет решена до конца, если в выражении (26) найдем зависимость глубины охлаждения δ от времени. Для этого воспользуемся уравнением интегрального баланса (20), для чего вычислим каждый его член с помощью формулы (26):

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \int_0^\delta T(x, t) dx &= \frac{d}{dt} \int_0^\delta \left[T_n - \frac{T_n - T_s}{\delta^2} (\delta - x)^2 \right] dx = \\ &= T_n \frac{d\delta}{dt} + \frac{d}{dt} \frac{\delta(T_n - T_s)}{3}; \end{aligned} \quad (27)$$

$$a \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = -\frac{2a}{\delta} (T_n - T_s). \quad (28)$$

Подставив выражения (27) и (28) в равенство (20), для толщины слоя δ получим дифференциальное уравнение

$$\frac{d[(T_n - T_s)\delta]}{dt} = \frac{6a(T_n - T_s)}{\delta}. \quad (29)$$

Исключим из уравнения (29) разность температур $T_n - T_s$ с помощью граничного условия (12), записав его в виде

$$T_n - T_s = \frac{\alpha\delta(T_n - T_0)}{\alpha\delta + 2\lambda}. \quad (30)$$

Подставив (30) в (29), получим дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными:

$$\left(2\delta - \frac{\alpha\delta^2}{\alpha\delta + 2\lambda} \right) \frac{d\delta}{dt} = 6a. \quad (31)$$

Учитывая, что при $t = 0$ слой охлаждения еще не начал формироваться ($\delta = 0$), интеграл этого уравнения можно представить в виде

$$\int_0^\delta 2\delta \left(1 - \frac{\alpha\delta}{2(\alpha\delta + 2\lambda)} \right) d\delta = 6 \int_0^t dt. \quad (32)$$

Полученный интеграл выражается через элементарные функции, но получаемое при этом выражение столь сложно, что не представляется возможным вывести его в виде функции $\delta = f(t)$. Как показывает предварительная оценка, отношение параметров, входящих в уравнение (32) в виде дроби, значительно меньше единицы. Пренебрегая дробью по сравнению с единицей и интегрируя (32), будем иметь:

$$\delta = \sqrt{6at}. \quad (33)$$

Законность такого приема определим при сравнении полученного приближенного решения с точным.

Подставляя (33) в (30), прибавляя и отнимая от левой части уравнения (30) температуру окружа-

ющей среды T_0 , для интересующей нас температуры поверхности получим выражение

$$\frac{T_s - T_0}{T_n - T_0} = \frac{2\lambda}{\alpha\sqrt{6at} + 2\lambda}. \quad (34)$$

Обозначив

$$\frac{T_s - T_0}{T_n - T_0} = \theta, \quad (35)$$

получим:

$$\theta = \frac{2\lambda}{\alpha\sqrt{6at} + 2\lambda}. \quad (36)$$

Точное решение рассмотренной задачи приведено в работе [9]:

$$\theta = \exp\left(\frac{\alpha^2}{\lambda^2} at\right) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{\lambda} \sqrt{at}\right) \right]. \quad (37)$$

Сравнение точного и приближенного решений по формулам (36) и (37) приведено на рисунке.

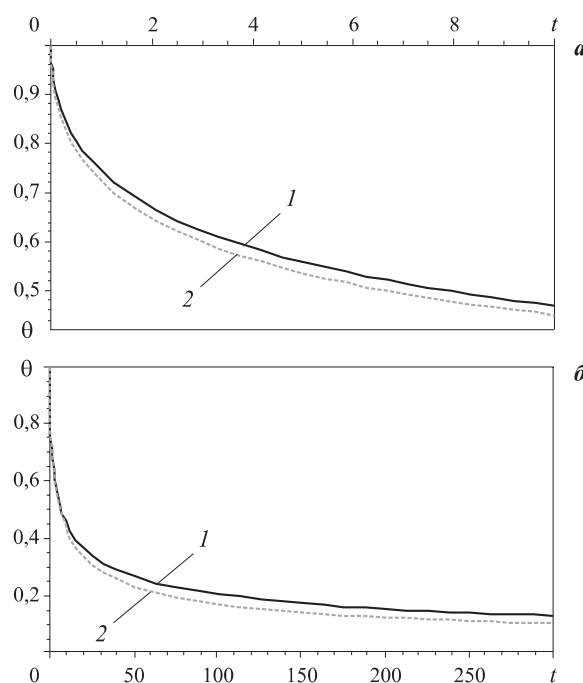
Время, необходимое для охлаждения борта резервуара, можно вычислить с помощью формулы (36):

$$t = \frac{1}{6a} \sqrt{\frac{2\lambda(1-\theta)}{\alpha\theta}}, \quad (38)$$

или с учетом (35)

$$t = \frac{1}{6a} \sqrt{\frac{2\lambda(T_n - T_s)}{\alpha(T_s - T_0)}}. \quad (39)$$

Формула (38) проще, так как не требует знания начальной температуры и температуры, при которой происходит тушение жидкости. Достаточно за-



Сравнение точного и приближенного решений в диапазоне 0–10 с (а) и 0–300 с (б): 1 — точное решение; 2 — приближенное решение ($a = 10^{-7}$; $\lambda = 0,1$; $\alpha = 0,5$)

дать необходимый уровень понижения температуры θ , чтобы рассчитать соответствующее ему время охлаждения.

Распределение температуры в слое охлаждения на основании формул (26), (30) и (33) может быть записано в виде

$$T = T_n - \frac{\alpha\sqrt{6at}(T_n - T_0)}{\alpha\sqrt{6at} + 2\lambda} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{6at}}\right)^2. \quad (40)$$

Таким образом, получено уравнение изменения температуры борта резервуара при охлаждении во время тушения горючей жидкости пеной. Данную зависимость целесообразно использовать для сравнения с экспериментом. Полученное уравнение в дальнейшем может применяться при моделировании процессов тушения резервуаров и расчета интенсивности подачи пены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
2. Marco Fossa, Francesco Devia. A model for radiation evaluation and cooling system design in case of fire in tank farms // Fire Safety Journal. — 2008. — Vol. 43, Issue 1. — P. 42–49. DOI: 10.1016/j.firesaf.2007.01.005.
3. Хабибуллин Р. Ш. Устойчивость к воздействию тепловых потоков пожара горизонтальных резервуаров с нефтепродуктом : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Академия Государственной противопожарной службы МЧС России. — М., 2010. — 162 с.
4. Копылов Н. П., Кузнецов А. Е., Родионов Е. С., Федоткин Д. В., Орлов Л. А., Плаксина Д. С., Сенчишак Т. И., Кононов Б. В. Испытания импульсных установок пожаротушения для тушения нефтепродуктов самовспенивающейся газоаэрозоленеполненной пеной // Пожарная безопасность. — 2016. — № 3. — С. 85–88.
5. Вейник А. И. Приближенный расчет процессов теплопроводности. — М.–Л. : Госэнергоиздат, 1959. — 184 с.
6. Hadjisophocleous G. V., Sousa A. C. M., Venart J. E. S. A study of the effect of the tank diameter on the thermal stratification in LPG tanks subjected to fire engulfment // Journal of Hazardous Materials. — 1990. — Vol. 25, Issue 1-2. — P. 19–31. DOI: 10.1016/0304-3894(90)85067-D.
7. Горшков В. И., Шебеко А. Ю. Зажигание горючей смеси с помощью металлической пластины. Граничное условие первого рода // Пожарная безопасность. — 2016. — № 1. — С. 76–80.
8. Beynon G. V., Cowley L. T., Small L. M., Williams I. Fire engulfment of LPG tanks: heatup, a predictive model // Journal of Hazardous Materials. — 1988. — Vol. 20. — P. 227–238. DOI: 10.1016/0304-3894(88)87014-6.
9. Гудмен Т. Р. Применение интегральных методов в нелинейных задачах нестационарного теплообмена // Проблемы теплообмена / Пер. с англ. — М. : Атомиздат, 1967. — С. 41–96.
10. Zhao B. Temperature-coupled field analysis of LPG tank under fire based on wavelet finite element method // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. — 2014. — Vol. 117, Issue 1. — P. 413–422. DOI: 10.1007/s10973-014-3653-2.
11. Горшков В. И. Применение интегрального теплового баланса в задачах нестационарного теплообмена : метод. пособие. — М. : ВНИИПО, 2012. — 141 с.
12. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М. : Наука, 1973. — 832 с.

Материал поступил в редакцию 13 декабря 2016 г.

Для цитирования: Копылов Н. П., Горшков В. И., Копылов С. Н., Федоткин Д. В. Исследование температурных режимов тушения пожара в резервуарах пеной // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 3. — С. 70–76. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.70-76.

English

INVESTIGATION OF TEMPERATURE REGIMES OF FOAM FIRE EXTINGUISHING IN THE TANKS

KOPYLOV N. P., 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)

GORSHKOV V. I., Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

KOPYLOV S. N., Doctor of Technical Sciences, Head of Center of Automatic Installations of Detection and Suppression of Fires, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

FEDOTKIN D. V., Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of Department of Special Investigations, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: fdv982@mail.ru)

ABSTRACT

When fire extinguishing foam is applied for fire suppression of flammable liquid in the tank, after the most part of the liquid mirror is already covered by a fire extinguishing foam layer, the fuel continues to burn at the side of the tank. This rather complex case is often implemented in practice, but it wasn't fully described in the existing theoretical literature. Extinguishing of these last fire sources occur in the following two cases:

- cooling of a free side of the tank to a temperature at which the side heated by flame ceases to serve as a source of ignition of fuel vapors;
- lowering of the temperature of the combustible fluid located at the side surface of the reservoir to a temperature at which the ignition of the combustible mixture formed by mixing of the fuel vapor with air can not occur.

The article presents the analysis of the two cases needed to extinguish remaining pockets of burning at the side of the tank. For the first case (cooling of a free side of the tank to a temperature at which the side heated by flame ceases to serve as a source of ignition of fuel vapors), the mathematical model describing the temperature change during the cooling of the sides of the reservoir was developed. Analytical solutions with certain assumptions were obtained. The expression that defines the time of extinguishing of flammable liquid was also obtained. The values of heat transfer coefficient calculated with the usage of the resulting equation together with the available experimental data obtained in the burning tank, are presented in the paper. The values of the heat transfer coefficient are $0.34 \div 0.51 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. For the second case (lowering of the temperature of the combustible fluid to a temperature at which the ignition of the combustible mixture can not occur), the resulting expression describes changes in temperature of the side of the tank during cooling by fire extinguishing foam. The expression was derived from the heat equation with a number of assumptions and the usage of integrating methods of research of physical processes involving integral relations derived from the analysis of differential equations. The obtained equation of temperature change of the side of the tank while cooling by fire suppression foam during extinguishing of flammable liquid, can be later used in the modeling of processes of extinguishing of tanks and in calculating of the flow rate of the foam.

Keywords: fire fighting; tank; cooling time; temperature; mathematical modeling.

REFERENCES

1. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Fire extinguishing of oil and oil products*. Moscow, Publishing house "Kalan", 2002. 448 p. (in Russian).
2. Marco Fossa, Francesco Devia. A model for radiation evaluation and cooling system design in case of fire in tank farms. *Fire Safety Journal*, 2008, vol. 43, issue 1, pp. 42–49. DOI: 10.1016/j.firesaf.2007.01.005.
3. Khabibulin R. Sh. *Resistance to influence of thermal streams of the fire of horizontal reservoirs with oil product*. Abstr. cand. tech. sci. diss. Moscow, 2010. 162 p. (in Russian).
4. Kopylov N. P., Kuznetsov A. E., Rodionov E. S., Fedotkin D. V., Orlov L. A., Plaksina D. S., Senchishak T. I., Kononov B. V. Tests of pulse extinguishing installations for suppression of oil products with the self-foaming gas-aerosol filled foam. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2016, no. 3, pp. 85–88 (in Russian).
5. Veynik A. I. *Approximate calculation of processes of heat conductivity*. Moscow – Saint Petersburg, Gosenergoizdat, 1959. 184 p. (in Russian).

6. Hadjisophocleous G. V., Sousa A. C. M., Venart J. E. S. A study of the effect of the tank diameter on the thermal stratification in LPG tanks subjected to fire engulfment. *Journal of Hazardous Materials*, 1990, vol. 25, issue 1-2, pp. 19–31. DOI: 10.1016/0304-3894(90)85067-D.
7. Gorshkov V. I., Shebeko A. Yu. Ignition of gas mixture by the metal plate. Boundary condition of the first sort. *Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2016, no. 1, pp. 76–80 (in Russian).
8. Beynon G. V., Cowley L. T., Small L. M., Williams I. Fire engulfment of LPG tanks: heatup, a predictive model. *Journal of Hazardous Materials*, 1988, vol. 20, pp. 227–238. DOI: 10.1016/0304-3894(88)87014-6.
9. Goodman T. R. Application of integral methods to transient nonlinear heat transfer. In: *Advances in Heat Transfer*. New York, London, Academic Press, 1964 (Russ. ed.: Gudmen T. R. Primeneniye integralnykh metodov v nelineynykh zadachakh nestatsionarnogo teploobmena. In: Problemy teploobmena. Moscow, Atomizdat, 1967, pp. 41–96).
10. Zhao B. Temperature-coupled field analysis of LPG tank under fire based on wavelet finite element method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2014, vol. 117, issue 1, pp. 413–422. DOI: 10.1007/s10973-014-3653-2.
11. Gorshkov V. I. *Use of integrated thermal balance in problems of non-stationary heat exchange. Methodical book*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2012. 141 p. (in Russian).
12. Korn G., Korn T. *The reference book on mathematics for scientists and engineers*. Moscow, Nauka Publ., 1973. 832 p. (in Russian).

For citation: Kopylov N. P., Gorshkov V. I., Kopylov S. N., Fedotkin D. V. Investigation of temperature regimes of foam fire extinguishing in the tanks. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 70–76. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.70-76.



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:**

В каждой организации для подключения к сети офисной техники используют различные типы удлинителей, в том числе самодельные, которые могут стать причиной пожара. Зачастую это вызвано подключением большого числа электрических приборов к одному удлинителю, не рассчитанному на такую нагрузку. По статистике такое нарушение приводит к росту числа пожаров в нашей стране. Каким способом реализуется контроль качества изготовления электрических удлинителей и порядок их применения с позиции обеспечения пожарной безопасности?

ОТВЕТ:

Под термином “электрический удлинитель” понимают электротехническое устройство, предназначенное для подключения электроприборов в местах, удаленных от стационарных розеток. Подключение потребителей с помощью удлинителей обычно предназначено для выполнения временных работ, связанных с монтажом или ремонтом объекта. Такие удлинители называют переносными. Для длительного подключения электрооборудования используют стационарные удлинители, конструкция которых предусматривает постоянное в процессе монтажа и эксплуатации крепление его в определенном месте [1].

Как показывает практика, в большинстве офисных помещений в качестве стационарных используют переносные удлинители различной конструкции. Чаще всего их выполняют в виде гибкого кабеля (провода, шнура) с опрессованной/разборной вилкой и одной или многоместной розеткой. Удлинители, предназначенные для подключения сразу нескольких приборов, согласно ГОСТ IEC 60884-1–2013 [2] называют многоместной переносной розеткой.

Кроме того, современные удлинители могут оснащаться индикаторами напряжения, плавкими предохранителями, токоограничивающими реле (термопрерыватели) и устройствами защитного отключения (УЗО). Удлинитель, содержащий электронный блок для защиты от импульсных и высокочастотных помех, называют удлинителем со встроенным сетевым фильтром, или просто сетевым фильтром. На них распространяются требования ГОСТ 13661–92 [3] к электромагнитной совместимости.

Многим известно, что с вступлением в силу в 2012 г. Правил противопожарного режима в Российской Федерации (далее — ППР) [4] был введен запрет на использование временной проводки, а также удлинителей для питания электроприборов, не предназначенных для проведения аварийных и других временных работ. Правила не приводили каких-либо исключений, в том числе для бытового использования. Как

следствие, возник вопрос о возможности применения бытовых удлинителей для питания офисной оргтехники (компьютеров, принтеров и т. п.). В результате Департаментом надзорной деятельности МЧС России было принято решение о том, что данное требование не распространяется на использование сетевых фильтров, предназначенных для работы с бытовыми электрическими приборами¹ (см. письмо МЧС России № 19-16-968 от 4 октября 2012 г.).

Для правильного понимания порядка применения удлинителей и сетевых фильтров п. 42з ППР [4] (в ред. 5 марта 2014 г.) был изменен следующим образом: *“При проведении аварийных и других строительно-монтажных и реставрационных работ запрещается использовать временную электропроводку, включая удлинители, сетевые фильтры, не предназначенные по своим характеристикам для питания применяемых электроприборов”*.

Для подтверждения безопасности и качества удлинители бытового и аналогичного назначения (в том числе удлинители на катушке и удлинители с фильтром), предназначенные для использования при номинальном напряжении от 50 до 1000 В (включительно) переменного тока и от 75 до 1500 В (включительно) постоянного тока, подлежат обязательной сертификации согласно техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 004/2011 [6].

Согласно ТР ТС 020/2011 [7] удлинители подлежат декларированию соответствия, которое выполняется производителем или продавцом продукции. Разработка и регистрация декларации по ТР ТС 020/2011 [7] распространяются на удлинители, которые также подлежат сертификации в рамках требований ТР ТС 004/2011 [6]. По решению изготовителя или продавца подтверждение соответствия удлинителей требованиям ТР ТС 020/2011 [7] может быть выполнено в форме сертификации.

¹ Согласно ГОСТ Р 52084–2003 [5] офисная техника относится к электрическим приборам бытового и аналогичного применения, питающимся от переменного тока номинальным напряжением до 250 В (однофазные) или до 480 В (трехфазные) и постоянного тока номинальным напряжением до 440 В и предназначенным для пользования лицами, не имеющими специальной подготовки.

Электрические приборы считаются не бытовыми, если они предназначены для промышленного применения и применения в местах с особыми условиями среды, например в атмосфере, вызывающей коррозию, взрыв (пыль, газ, пар), а также если они представляют собой отдельные электродвигатели, высокочастотные нагревательные приборы (кроме бытовых микроволновых печей), радиоэлектронную аппаратуру и приборы для медицинских целей [5].



Маркировка продукции единым знаком обращения продукции на рынке государств – членов Таможенного союза (а) и знаком соответствия требованиям европейских регламентов (б)

При этом обязательной сертификации на соответствие требованиям ТР ТС 004/2011 [6] не подлежат удлинители: военного назначения, взрывозащищенные, для железнодорожного транспорта, для воздушного и судового транспорта, для атомной промышленности особого назначения и медицинские специальные.

Для удлинителей на кабельных катушках в инструкцию по эксплуатации обязательно вносится требование по их использованию только в полностью размотанном состоянии. Связано это с тем, что смотанный на круглом каркасе кабель представляет собой катушку индуктивности, поэтому в такой намотке будет происходить повышение температуры, а сам удлинитель может стать источником пожара при нормальных и аварийных режимах работы. Однако это недопустимо согласно требованиям ТР ТС 004/2011 [6] по безопасности сертифицируемого оборудования.

Удлинители должны иметь маркировку знаком свободного обращения на рынке для государств – членов Таможенного союза и/или знак соответствия требованиям европейских регламентов (см. рисунок).

ЕАС – единый знак обращения продукции на рынке государств – членов Таможенного союза, который расшифровывается как “Евразийское соответствие” (*Eurasian Conformity*). Маркировка единым знаком обращения осуществляется перед выпуском продукции в обращение на рынок государств – членов Таможенного союза. Знак свидетельствует о том, что маркированная им продукция соответствует требованиям всех распространяющихся на данную продукцию технических регламентов Таможенного союза.

Знак соответствия требованиям европейских регламентов CE-mark расшифровывается как “Европейское соответствие” (*Conformite Europeenne*). Данный знак означает, что продукт соответствует требованиям европейских регламентов – директив и регла-

ментов ЕС, имеющих силу закона в государствах – членах ЕС. Такая маркировка обязательна для всех товаров, поступающих на европейский рынок. Тем не менее знак не является гарантом качества продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31223–2012 (IEC 61242:1995). Удлинители бытового и аналогичного назначения на кабельных катушках. Общие требования и методы испытаний. — Введ. 01.01.2014. — М. : Стандартинформ, 2014.
2. ГОСТ IEC 60884-1-2013. Соединители электрические штепсельные бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Общие требования и методы испытаний. — Введ. 01.01.2016. — М. : Стандартинформ, 2015.
3. ГОСТ 13661–92. Совместимость технических средств электромагнитная. Пассивные помехоподавляющие фильтры и элементы. Методы измерения вносимого затухания. — Введ. 01.03.2004. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2004.
4. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (в ред. 01.03.2017) : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390 // Собрание законодательства РФ. — 2012. — № 19, ст. 2415.
5. ГОСТ Р 52084–2003. Приборы электрические бытовые. Общие технические условия. — Введ. 01.07.2004. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2003.
6. ТР ТС 004/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности низковольтного оборудования (в ред. 09.12.2011) : утв. решением Комиссии Таможенного союза от 16.08.2011 № 768; введ. 15.02.2013 // Официальный сайт Комиссии таможенного союза. — 2011. URL: www.eurasiancommission.org (дата обращения: 01.03.2017).
7. ТР ТС 020/2011. Технический регламент Таможенного союза. Электромагнитная совместимость технических средств : утв. решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 879; введ. 15.02.2013 // Официальный сайт Комиссии таможенного союза. — 2011. URL: www.eurasiancommission.org (дата обращения: 01.03.2017).

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. Основной текст статьи должен быть лаконичным и структурированным. Следует делить текст на традиционные для научной статьи разделы:

- введение (актуальность, состояние вопроса);
- цели и задачи;
- материалы и методы (методология);
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (например, аналитической, обзорной), при условии четкого выделения разделов.

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 неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также неперебиваемый 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, кото-

рое 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 изложенного 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);
- объем 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 да-

вать 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 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 тре-

бования 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 половины 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.

SOLIDS EUROPEAN SERIES

SOLIDS

RUSSIA

6 – 7 июня 2017

ЦВК „Экспоцентр“, Москва

Станьте участником!

3-я конференция и
выставка по технологиям
и транспортировке
сыпучих материалов

www.solids-russia.ru

Organised by
EASYFAIRS
Visit the future

РЕКЛАМА