

12-2013

**ПОЖ** Издательство  
**НАУКА**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-**

# БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

Для тех, кто сделал  
безопасность  
своей профессией

*С Новым  
Годом!*



**КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



# СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

Юридический адрес: 142301, г. Чехов, Московская обл., Вишневый бульвар, 8

Почтовый адрес: 117465, г. Москва, а/я № 7

Тел/факс: +7 (495) 775-27-96; 984-07-96

E-mail: artsok@centro.ru, postmaster@artsok.com

http: www.artsok.com

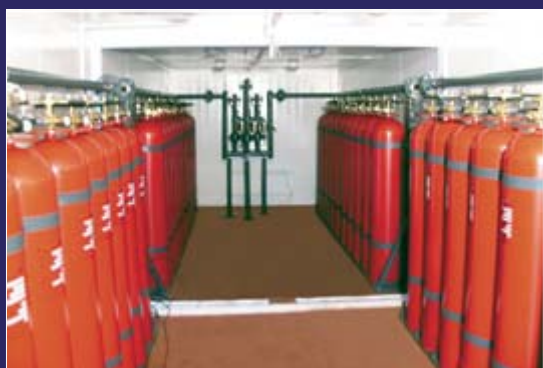
Система менеджмента качества сертифицирована как соответствующая требованиям 9001–2008



Запорно-пусковые устройства (ЗПУ) МГП сертифицированы как соответствующие требованиям  
Директивы безопасности Европейского Союза PED 97/23/EC



Модули МГП-16 емкостью от 2 до 100 л  
на рабочее давление до 19,6 МПа (200 кгс/см<sup>2</sup>),  
МГП-35 емкостью от 60 до 100 л  
на рабочее давление до 14,7 МПа (150 кгс/см<sup>2</sup>),  
МГП-50 емкостью от 60 до 100 л  
на рабочее давление до 6,37 МПа (65 кгс/см<sup>2</sup>)  
и батареи на их основе



Приборы  
приемно-  
контрольные  
пожарные  
и управления  
ППКУ 4/16  
«АИСТ»



Стойки с весовыми устройствами  
для МГП-16 и МГП-35



Модули изотермические для жидкой двуокиси  
углерода (МИЖУ) емкостью от 3 до 28 м<sup>3</sup>  
(стационарные и передвижные)

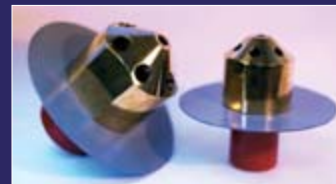


РЕКЛАМА

Распределительные устройства  
(РУ) для комплектации АУГП  
централизованного типа



Насадки для распыления  
газовых огнетушащих веществ  
(струйные и локальные)



# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

## NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

Международный отраслевой форум-выставка  
“Пожарная безопасность XXI века”, 24–27 сентября  
2013 г., г. Москва, Россия

5

International Industrial Forum-Exhibition  
“Fire Safety of XXI Century”, September 24–27,  
2013, Moscow, Russia

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

## GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

БОРКОВСКАЯ В. Г.  
Новые требования профессиональных рисков  
в пожарной безопасности

9

BORKOVSKAYA V. G.  
New requirements professional risks  
in fire safety

## ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

## COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

ВОЛКОВ Р. С., КУЗНЕЦОВ Г. В., СТРИЖАК П. А.  
Экспериментальное исследование особенностей  
движения капель распыленной тушащей жидкости  
на входе в зону пламени

16

VOLKOV R. S., KUZNETSOV G. V., STRIZHAK P. A.  
Experimental investigation of sprayed extinguishing  
liquid drops moving features on the entering  
into the flame

## ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

## FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

АЛЕКСЕЕВ С. Г., АВДЕЕВ А. С., БАРБИН Н. М., ГУРЬЕВ Е. С.  
Методы оценки взрывопожароопасности  
топливовоздушных смесей на примере  
керосина марки РТ. VII. BST-методы

23

ALEXEEV S. G., AVDEEV A. S., BARBIN N. M., GURYEV E. S.  
Analysis methods of explosion fire hazard of mixtures  
of fuel and air on an example for jet fuel RT.  
VII. BST-methods

ВОЛКОВ Г. М.  
Потенциал пожаровзрывобезопасности  
машиностроительных материалов и технологий

31

VOLKOV G. M.  
Fire and explosion safety potential  
of engineering materials and technologies

## ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

## FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

КИРШЕВ А. А.  
Разработка экспериментального стенда для оценки  
интенсивности испарения углеводородных жидкостей

38

KIRSHEV A. A.  
Development of an experimental stand to estimate  
the evaporation rate of hydrocarbon liquids summary

## БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

## FIRE SAFETY OF PEOPLE

ХОЛЩЕВНИКОВ В. В., КУДРИН И. С.  
Экспериментальные исследования людских потоков  
в лестничной клетке многоэтажного здания

43

KHOLSHCHEVNIKOV V. V., KUDRIN I. S.  
Experimental research of a human flow  
on the stairs in the multistory buildings

## СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

## MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

ШИМКО В. Ю.  
Использование водопленочных теплозащитных экранов  
для защиты от теплового излучения при горении  
проливов сжиженного природного газа

63

SHIMKO V. Yu.  
Application of water-film heat-reflecting shields  
for protection against thermal radiation arising  
from burning spills of liquefied natural gas

ШАРОВАРНИКОВ А. Ф., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А.  
Влияние дисперсности капель воды на эффективность  
тушения пожаров горючей жидкости

69

SHAROVARNIKOV A. F., KOROL'CHENKO D. A.  
Impact of dispersion of water drops on the efficiency  
of fire extinguishing of combustible liquid

## ВОПРОС – ОТВЕТ

77

## QUESTION – ANSWER

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЗА 2013 г.

81

AUTHORS INDEX

ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,  
ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2013 г.

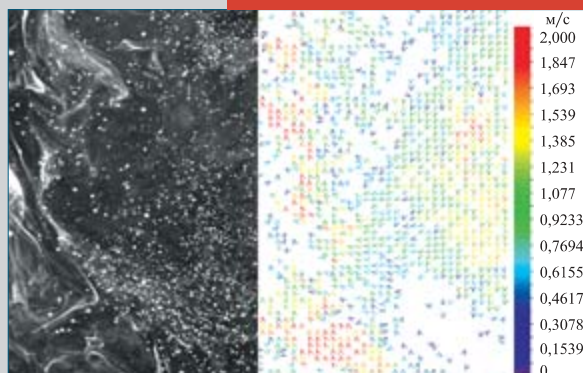
87

GUIDE INDEX OF THE ARTICLES  
PUBLISHED IN 2013

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 ВИНИТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям “Ulrich’s Periodicals Directory”. 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.



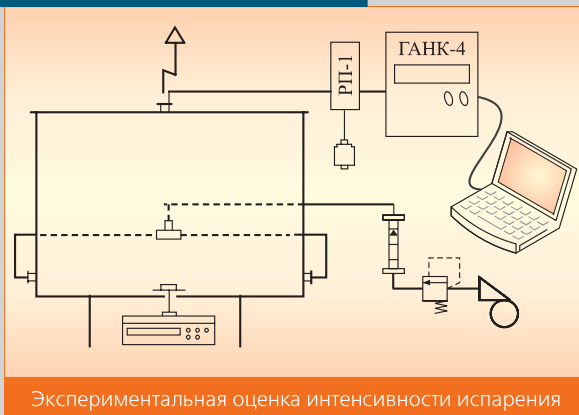
Форум-выставка "Пожарная безопасность XXI века"



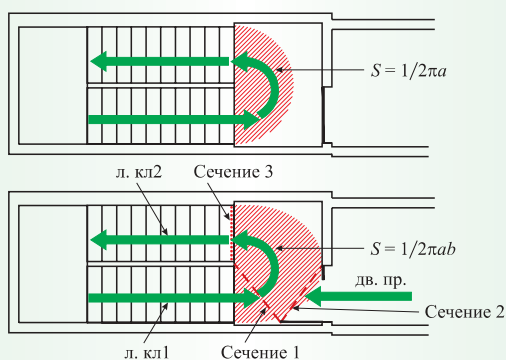
Движение капель жидкости на входе в зону пламени

Стр. 5

Стр. 16



Экспериментальная оценка интенсивности испарения

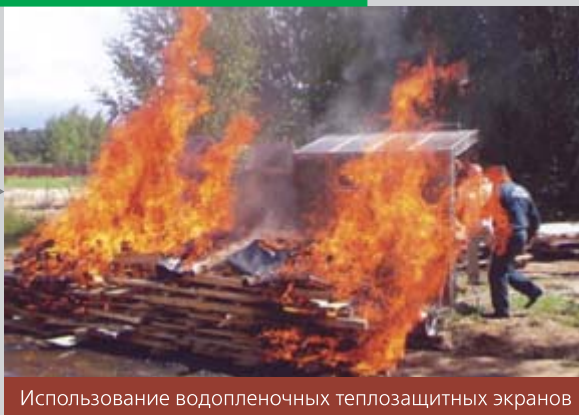


Исследование людских потоков в лестничной клетке

Стр. 38

Стр. 43

Стр. 63



Использование водопеночных теплозащитных экранов

### 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:

**Баратов А. Н.**, д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

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

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

**Кирюханцев Е. Е.**, к. т. н., профессор (Россия)

**Корольченко Д. А.**, к. т. н. (Россия)

**Лейбман М. Е.**, заслуженный строитель России, генерал-полковник запаса (Россия)

**Меркулов В. А.**, к. т. н. (Россия)

**Мишуев А. В.**, д. т. н., профессор, академик РАЕН (Россия)

**Ройтман В. М.**, д. т. н., профессор, академик НАНПБ и ВАНКБ (Россия)

**Сенин Н. И.**, к. т. н., профессор (Россия)

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

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

**Теличенко В. И.**, д. т. н., профессор, действительный член РААСН, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

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

**Тычино Н. А.**, д. т. н., член-корреспондент МАНЭБ (Белоруссия)

**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.

121352, г. Москва, а/я 43.

E-mail: [info@fire-smi.ru](mailto:info@fire-smi.ru), [mail@firepress.ru](mailto:mail@firepress.ru),  
[www.fire-smi.ru](http://www.fire-smi.ru), [www.firepress.ru](http://www.firepress.ru).

Подписано в печать 03.12.2013.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.

**Founder:**

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

**Editorial Staff:**

Editor-in-Chief **Korol'chenko A. Ya.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

**Address of Editorial Staff:**

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 and VINITI Database RAS, is included in Russian Citation Index Database.

Information about the journal is annually published in "Ulrich's Periodicals Directory".

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 03.12.2013  
Format is 60x84 1/8  
Printing is 5 000 copies  
Chalk-overlay mat paper  
Offset printing

**Chairman of Editorial Board:**

**Korol'chenko 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:**

**Baratov A. N.,**

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

**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)

**Kiryukhantsev Ye. Ye.,**

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Korolchenko D. A.,**

Candidate of Technical Sciences (Russia)

**Leybman M. Ye.,**

Honoured Builder of the Russian Federation, Retired Colonel General (Russia)

**Merkulov V. A.,**

Candidate of Technical Sciences (Russia)

**Mishuev A. V.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences (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 (Russia)

**Senin N. I.,**

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Serkov B. B.,**

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

**Puzach C. V.,**

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

**Telichenko V. I.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (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)

**Tychino N. A.,**

Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of International Academy of Ecology and Life Safety (Belarus)

**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)

**Thomas Jim Shields,**

Professor (Great Britain)



Международный отраслевой форум-выставка

# ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ XXI ВЕКА

24–27 сентября 2013 г.  
Москва, МВЦ “Крокус Экспо”

**С 24 по 27 сентября 2013 года в павильоне № 2 МВЦ “Крокус Экспо” состоялся Международный отраслевой форум-выставка “Пожарная безопасность XXI века” — значимое событие в сфере разработки, производства и пропаганды продукции пожарно-технического назначения в России. Общая площадь форума-выставки составила 3500 м<sup>2</sup> (2300 м<sup>2</sup> закрытой выставочной площади и 1200 м<sup>2</sup> открытой).**

В церемонии открытия форума-выставки “Пожарная безопасность XXI века” 24 сентября 2013 г. приняли участие член оргкомитета форума-выставки, член Комитета Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации по безопасности и противодействию коррупции Анатолий Выборный; заместитель генерального директора ЗАО “Крокус Интернэшнл” Аркадий Злотников; начальник Управления охраны и защиты лесов Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз) Андрей Грибенников; советник аппарата Комитета Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации по безопасности и противодействию коррупции Алексей Гордейчук; начальник отдела пожарного надзора и пожарной автоматики ФГП “Ведомственная охрана железнодорожного транспорта России” Юрий Никифоронок; заместитель Председателя ЦС Всероссийского добровольного пожарного общества (ВДПО) Константин Белоусов и ответственный секретарь оргкомитета, директор форума-выставки Владимир Микляев.

Все выступающие отметили, что форум-выставка играет важную роль в улучшении пожарной обстановки в России, а также обратили свое внимание на обширную экспозицию новейших научно-технических достижений в области предупреждения и тушения пожаров. Особую

благодарность выступающие выразили экспонентам выставки, представителям законодательной и исполнительной власти Российской Федерации, специалистам и ведущим ученым и пожелали участникам и гостям форума-выставки продуктивной работы, заключения выгодных контрактов и полезных встреч.

В завершение церемонии открытия форума-выставки заместителю председателя ЦС ВДПО Константину Белоусову, главному специалисту отдела научно-технического развития, общественных связей и международного сотрудничества ФБУ “Авиалесоохрана” Николаю Фролову и вице-президенту Всемирной академии наук комплексной безопасности (ВАНКБ) Юрию Овчинникову были вручены благодарственные грамоты Комитета Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации по безопасности и противодействию коррупции.

По предложению ведущего, заместителя генерального директора ЗАО “Крокус Интернэшнл” Аркадия Злотникова, высокопоставленные гости перерезали ленточку и пригласили посетить экспозицию. Торжество завершилось выступлением воспитанников Центра развития творчества детей и юношества “Можайский”, исполнивших хореографическую композицию и песню про доблестных борцов с пожаром.





В рамках форума-выставки были продемонстрированы новейшие достижения в области предупреждения и тушения пожаров в городах, населенных пунктах, лесных массивах, местах добычи и транспортировки нефти и газа, на транспорте, объектах энергосистем, а также проведена работа по пропаганде пожарной безопасности среди населения.

В работе форума приняли участие около 100 российских и зарубежных компаний из Беларуси, Украины, Германии, Китая и Швеции, представители законодательной и исполнительной власти Российской Федерации, специалисты и ведущие ученые.

Среди экспонентов были лидеры отечественной противопожарной индустрии: ЗАО "АРТСОК", ЗАО "Аргус Спектр", Ассоциация "КРИЛАК", ФГУ "Авиалесоохрана", ООО "Бонпет Систем", ЗАО "НПО "Вариант-Гидротехника", ООО фирма "ЛОВИН-Огнезащита", ОАО "Ливенский завод противопожарного машиностроения", ЗАО "Машиностроительный завод", ООО ПКФ "Интерсити", ООО "Плазма-Т", ЗАО "НТО "Пламя", ООО "НПК Пожхимзащита", ООО "Приоритет", ООО "ТЕРМО ЦЕНТР", ОАО "УралАвтоПрицеп", "Самоспас", ЗАО "Инженерный центр пожарной робототехники "ЭФЕР".

В рамках форума-выставки "Пожарная безопасность XXI века" состоялся целый ряд деловых мероприятий, профильных научно-практических конференций и семинаров с участием ведущих специалистов и экспертов:

- **Научно-практическая конференция "Инновационное развитие в области охраны лесов от пожаров"**  
Организатор: Рослесхоз  
Руководитель: начальник Управления охраны и защиты лесов Рослесхоза А. Н. Грибенников
- **Научно-практическая конференция "Системные решения пожарной безопасности на транспортном комплексе"**  
Организатор: Федеральная служба по надзору в сфере транспорта (Ространснадзор)  
Руководитель: заместитель руководителя Ространснадзора В. Б. Черток
- **Научно-практическая конференция "Пожарная безопасность зданий и сооружений на стадиях строительства и эксплуатации"**  
Организаторы: ОМОР "Российский Союз строителей", ФГБОУ ВПО "Московский государственный строительный университет" (МГСУ)  
Руководитель: первый вице-президент Российского союза строителей Г. К. Веретельников  
Модератор: директор Института комплексной безопасности в строительстве МГСУ Д. А. Корольченко
- **Научно-практическая конференция "Новое в законодательстве: новые подходы к обеспечению пожарной безопасности. Техническое регулирование и саморегулирование. Снятие излишних админист-**





ративных барьеров. Аудит и независимая оценка риска. Страхование”

Организатор: ВДПО

Модератор: заместитель председателя ЦС ВДПО по научно-технической политике К. Н. Белоусов

- Семинар “Разработка систем и методов обеспечения противопожарной защиты объектов ОАО “Газпром” на основе инновационных технологий в области пожаротушения”

Организатор: ООО “Газпром газобезопасность”

Руководитель: заместитель генерального директора “Газпром газобезопасность” Р. М. Тагиев

- Семинар “Пожарная безопасность на объектах промышленности”

Организатор: ВАНКБ

Руководитель: первый вице-президент ВАНКБ П. П. Струк

- Семинар “Комплект устройств для автоматического управления пожарными и технологическими системами «Спрут-2Ж» и “Моноблочная автоматическая насосная станция «Спрут-НС»”

Организатор: ООО “Плазма-Т”

Среди экспонентов проводились конкурсы “Лидер продаж продукции пожарно-технического назначения”, “Лучшее техническое решение в области пожарной безопасности”, а также “Лучшие материалы и наглядные пособия по организации обучения населения мерам пожарной безопасности и противопожарной пропаганде”. Победители конкурсов награждены медалями и дипломами форума-выставки и дипломами ВАНКБ. По мнению

организаторов форума, данное мероприятие должно дать импульс внедрению научно-технических достижений отечественной противопожарной индустрии и совершенствованию нормативной базы страны в области пожарной безопасности.

Потребители средств пожаротушения и систем охранной и пожарной автоматики получили возможность рассмотреть на конкурсной основе лучшие предложения, обсудить вопросы инвестирования отечественных предприятий, поставляющих указанные средства.

В рамках форума-выставки работал презентационный центр. Участники форума-выставки ООО “Иновационные технологии”, ООО “Белый Волк”, ТПК “Домовенок” получили возможность в форме кратких докладов и видеопрезентаций представить гостям и участникам форума свои новинки в области пожарной безопасности.

Форум-выставку посетили около 3000 человек, из которых свыше 95 % составили специалисты различных отраслей, 5 % — студенты и аспиранты. По мнению специалистов и участников, форум-выставка прошел успешно: было проведено много деловых встреч, заключены выгодные контракты, имели место случаи реализации продукции.

Форум-выставка “Пожарная безопасность XXI века” показал, что российская противопожарная индустрия находится в постоянном развитии и может быть широко востребована на отечественном и мировом рынках. Данное мероприятие направлено на укрепление пожарной безопасности страны и охрану ее объектов, приобретая, таким образом, не только национальное, но и международное значение.

**Интересная экспозиция форума-выставки и ее насыщенная деловая программа дали импульс развитию новых достижений и направлений в сферах разработки, производства и обеспечения эффективности взаимодействия между разработчиками, производителями и потребителями продукции пожарно-технического назначения, а также способствовали решению актуальных проблем отрасли.**

Пресс-служба МВЦ “Крокус Экспо”



# **XIX Международный ФОРУМ®** **Технологии Безопасности**



**ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ  
CCTV, IP-РЕШЕНИЯ  
ИНТЕГРИРОВАННЫЕ  
СИСТЕМЫ**



**КОНТРОЛЬ ДОСТУПА  
ОХРАНА ПЕРИМЕТРА  
ОХРАННО-ПОЖАРНАЯ  
СИГНАЛИЗАЦИЯ**



**АНТИТЕРРОР  
ОХРАНА ГРАНИЦЫ  
БЕЗОПАСНОСТЬ  
НА ТРАНСПОРТЕ**



**ЗАЩИТА СВЯЗИ  
И ИНФОРМАЦИИ  
БИОМЕТРИЯ  
СПЕЦТЕХНИКА**

**ПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА  
ПОЖАРОТУШЕНИЕ  
БЕЗОПАСНОСТЬ  
И ОХРАНА ТРУДА**

**11–14.02.2014**

**КРОКУС ЭКСПО / МОСКВА**

**КОНФЕРЕНЦИИ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ САММИТЫ ПРИ УЧАСТИИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ФЕДЕРАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ОРГАНОВ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ И ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЛАСТИ, ЭКСПЕРТЫ МИРОВОГО КЛАССА НА ТЕХНИЧЕСКИХ МАСТЕР-КЛАССАХ, НОВЫЕ СИСТЕМЫ И РЕШЕНИЯ В ДЕМО-ЗОНАХ, СЕМИНАРЫ И ПРЕЗЕНТАЦИИ НА СТЕНДАХ ВЕДУЩИХ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОСТАВЩИКОВ ОБОРУДОВАНИЯ И РЕШЕНИЙ, КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЭКСПОЗИЦИИ ФСТЭК РОССИИ И ФСБ РОССИИ**

**БЕСПЛАТНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ НА [WWW.TBFORUM.RU](http://WWW.TBFORUM.RU)**



Организатор **Groteck**  
Business Media

РЕКЛАМА

**В. Г. БОРКОВСКАЯ**, канд. экон. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; e-mail: victoria@borkovskaya.com)

УДК 614.841.33

## НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Дополнены и уточнены новые требования к обеспечению пожарной безопасности зданий и сооружений. Приведено описание основных международных и национальных стандартов безопасности. Рассмотрены определения терминов “безопасность”, “опасность”, “риск”. Освещены изменения к требованиям обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, вступившие в силу 1 января 2013 г. Рассмотрены изменения, которые стали правомерными весной 2013 г., и изменения, находящиеся только в разработке.

**Ключевые слова:** профессиональные риски; комплексная безопасность; пожарная безопасность; техническое регулирование; гармонизация стандартов.

Прежде чем понять, что такое *профессиональные риски пожаробезопасности*, рассмотрим понятия “безопасность”, “опасность” и “риск” в соответствии с требованиями международных стандартов и федерального закона Российской Федерации [1].

### Что такое безопасность?

*Обеспечение безопасности* — одно из важнейших требований, которое должны выполнять все, везде и всегда, так как любая деятельность потенциально опасна. Безопасность и риск связаны и взаимозависимы. Рассмотрим определения этих понятий, приведенные в стандартах [2–4]:

- *безопасность* — отсутствие недопустимого риска [2–4];
- *опасность* — потенциальный источник возникновения ущерба [2–4];
- *риск* — эффект от неопределенности целей [4].

Таким образом, безопасность характеризуется не отсутствием риска вообще, а только отсутствием недопустимого риска. Стандарты [3, 5] определяют допустимый риск как “оптимальный баланс между безопасностью и требованиями, которым должны удовлетворять продукция, процесс или услуга, а также такими факторами, как выгодность для пользователя, эффективность затрат, обычаи и др.”. Стандарт [6], часто используемый предприятиями, трактует допустимый (приемлемый) риск как “риск, уменьшенный до уровня, который организация может допустить, учитывая свои законодательные обязательства и собственную политику в области гигиены и безопасности труда”.

В стандартах [3, 6] регламентированы способы уменьшения риска (в порядке приоритетов):

- разработка безопасного проекта;

- защитные устройства и персональное защитное оборудование (это коллективные и индивидуальные средства защиты. — *Прим. авт.*);
- информация по установке и применению;
- обучение.

### Типы стандартов безопасности

Согласно [3, 5] могут быть следующие типы стандартов безопасности:

- основополагающие, включающие в себя фундаментальные концепции, принципы и требования, относящиеся к основным аспектам безопасности. Эти стандарты применяются для широкого диапазона видов продукции, процессов и услуг;
- групповые, содержащие аспекты безопасности, применимые к нескольким видам или к семейству близких видов продукции, процессов или услуг. В этих документах даются ссылки на основополагающие стандарты безопасности;
- стандарты безопасности продукции, включающие в себя аспекты безопасности определенного вида или семейства продукции, процессов или услуг. В этих документах даются ссылки на основополагающие и групповые стандарты;
- стандарты на продукцию, содержащие аспекты безопасности, но касающиеся не только этих вопросов. В них должны быть сделаны ссылки на основополагающие и групповые стандарты безопасности.

Можно рекомендовать ознакомиться с табл. 1 стандарта [7], в которой указаны международные, европейские и российские нормативные документы, содержащие требования к характеристикам функции безопасности.

На наш взгляд, следует ввести еще одно понятие — “профессиональный риск в пожарной безопасности” и дать его определение.

*Профессиональный риск в пожарной безопасности* — это вопросы соблюдения требований промышленной и пожарной безопасности, охраны труда, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, санитарно-гигиенических требований на большинстве предприятий с опасными производствами, которые возлагаются на единую службу на предприятии. Следует также отметить, что российская специфика государственного регулирования вопросов, связанных с профессиональными рисками угрозы здоровью и жизни персонала производственных предприятий, заключается в большем объеме государственного надзора за обеспечением безопасности труда и ограниченной свободе выбора для самих организаций при решении данных вопросов по сравнению с промышленно развитыми странами. Тем не менее реализация национальной политики на основе положений Федерального закона “О техническом регулировании” [8] (далее — ФЗ № 184) позволила существенно расширить сферу ответственности служб промышленной безопасности и охраны труда.

Настоящий Федеральный закон [8] принимается в целях защиты жизни, здоровья, имущества граждан и юридических лиц, государственного и муниципального имущества от пожаров. Он определяет основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности и устанавливает общие требования пожарной безопасности к объектам защиты (продукции), в том числе к зданиям и сооружениям, промышленным объектам, пожарнотехнической продукции и продукции общего назначения. Технические регламенты, принятые в соответствии с ФЗ № 184 [8], не действуют в части, содержащей требования пожарной безопасности к указанной продукции, отличные от требований, установленных настоящим Федеральным законом [8] (часть в редакции Федерального закона № 117-ФЗ [9] (далее — ФЗ № 117)).

Положения ФЗ № 184 [8] об обеспечении пожарной безопасности объектов защиты обязательны для исполнения в случае:

1) проектирования, строительства, капитального ремонта, реконструкции, технического перевооружения, изменения функционального назначения, технического обслуживания, эксплуатации и утилизации объектов защиты;

2) разработки, принятия, применения и исполнения технических регламентов, принятых в соответствии с ФЗ № 184 [8], содержащих требования пожарной безопасности, а также нормативных до-

кументов по пожарной безопасности (пункт в редакции ФЗ № 117-ФЗ [9]);

3) разработки технической документации на объекты защиты.

С 1 января 2013 г. вступили в силу новые требования к обеспечению пожарной безопасности зданий и сооружений. Рассмотрим некоторые изменения к действующим и новым стандартам.

#### **ТКП 45-2.02-34–2006 “Здания и сооружения. Отсеки пожарные. Нормы проектирования”**

*Изменение № 5 (с 01.01.2013 г.)*

Раздел 4 дополнить пунктом 4.5:

“4.5. При наличии открытых проемов в перекрытиях смежных этажей зданий (в том числе при наличии второго света), за исключением зданий с атриумами, суммарная площадь этих этажей не должна превышать площади этажа, указанной в приложениях А–Е.”.

Пункт 6.2.9 дополнить примечанием:

“Примечание. Здания холодильников для хранения картофеля, овощей и фруктов в горючей таре допускается проектировать с незащищенным металлическим каркасом и ограждающими конструкциями из стальных профилированных листов или других негорючих листовых материалов с утеплителем групп горючести не ниже Г2. При этом их вместимость в пределах пожарного отсека следует принимать (т, не более): при хранении в горючей таре — 3000; при хранении россыпью — 5000.

#### **ТКП 45-2.02-34–2007 “Здания и сооружения. Отсеки пожарные. Нормы проектирования”**

*Изменение № 5 (с 01.01.2013 г.)*

В пункт 4.4 внести дополнение (*выделено курсивом*):

“4.4. Предельно допустимые площадь этажа и этажность зданий следует принимать согласно настоящему техническому кодексу или определять расчетом по методикам, приведенным в действующих ТНПА либо утвержденным в установленном порядке.

Площадь этажа зданий классов функциональной пожарной опасности Ф2, Ф3, Ф4 и Ф5.4 не ниже IV степени огнестойкости и классов функциональной пожарной опасности Ф5.1, Ф5.2 всех степеней огнестойкости может быть увеличена по сравнению с предусмотренной настоящим техническим кодексом *при наличии компенсирующих мероприятий по противопожарной защите на:*

- 100 % — при оборудовании здания, за исключением помещений, перечисленных в пункте 7, автоматическими установками пожаротушения, *за исключением зданий, подлежащих обязательному оборудованию автоматическими установками пожаротушения;*

- 100 % — при размещении здания на расстоянии не более 2 км (по дорогам общего пользования) от пожарных депо, в боевом расчете которых находится не менее трех единиц основных пожарных автомобилей. *В случае использования нескольких компенсирующих мероприятий предельно допустимая площадь этажа, с учетом компенсирующих мероприятий, определяется как сумма процентов увеличения площади с учетом применения автоматических установок пожаротушения и одного из типов пожарных депо.*

Изменение № 6 (с 01.05.2013 г.)

Начало раздела 1 изложить в новой редакции:

“Раздел 1. Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее — технический кодекс) устанавливает нормы проектирования пожарных отсеков, в том числе требования по степени огнестойкости, предельно допустимым этажности и площади этажа пожарных отсеков (далее — этажность и площадь этажа).

Требования настоящего технического кодекса следует применять при разработке проектной документации на строительство и реконструкцию зданий и сооружений (далее — здания).

Проектирование реставрации зданий в соответствии с ТКП 45-1.04–206 осуществляется на основании реставрационного задания с учетом требований настоящего технического кодекса. В случае невозможности соблюдения отдельных требований настоящего технического кодекса при подготовке реставрационного задания следует разрабатывать специальные технические условия в соответствии с ТКП 45-1.01–234.”.

Пункт 3.2 дополнить примечанием:

“Примечание. Площадь этажа одноэтажных зданий с двухэтажной частью, занимающей менее 15 % площади застройки здания, принимается как для одноэтажных.”.

Пункт 3.3 дополнить абзацем следующего содержания:

“Технический чердак при определении этажности здания не учитывается. Этаж технический — этаж для размещения инженерного оборудования и прокладки коммуникаций. Технический чердак может быть расположен в нижней (техподполье), верхней (технический чердак) или в средней части здания”.

Пункт 4.4 дополнить абзацем:

“Увеличение площади этажа зданий с учетом удаленности здания от пожарных депо допускается при условии наличия в составе пожарной автоматики защищаемых объектов СПИ, обеспечивающей передачу сигналов о пожаре и неисправности по-

жарной автоматики в пожарные аварийно-спасательные подразделения МЧС.”.

В пункте 6.1.7 пояснения в скобках исключить:

“6.1.7. Здания категории В не ниже IV степени огнестойкости лабораторных корпусов научно-исследовательских институтов естественных и технических наук допускается проектировать высотой до 10 этажей включительно (при отметке чистого пола верхнего рабочего этажа не более 26,5 м от планировочной отметки земли).”.

#### СНБ 2.02.02–01 “Эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре”

Изменение № 6 (с 01.01.2013 г.)

Пункт 3.2 изложить в новой редакции:

“3.2. Выходы являются эвакуационными, если они ведут из помещений:

а) первого этажа наружу непосредственно, через коридор, вестибюль (фойе), коридор и вестибюль, коридор и лестничную клетку;

б) любого надземного этажа (кроме первого) непосредственно в лестничную клетку или в коридор (холл), ведущий в лестничную клетку; при этом лестничные клетки должны иметь выход наружу непосредственно или через вестибюль, отделенный от примыкающих коридоров перегородками с дверями;

в) подвального или цокольного этажа наружу непосредственно, через лестничную клетку или через коридор, ведущий в лестничную клетку, при этом лестничные клетки должны иметь выход непосредственно наружу, изолированный от вышележащих этажей;

г) в соседнее помещение на том же этаже, обеспеченное выходами, указанными в подпунктах “а”, “б” и “в”, за исключением специально оговоренных случаев.

Эвакуационные выходы наружу допускается предусматривать через тепловые тамбуры.”.

Пункт 3.9: первый абзац изложить в новой редакции:

“3.9. Из здания, с каждого этажа и из помещения, площадки (антресоли), внутреннего яруса этажерки, со сцены (эстрады), балкона, рабочей галереи и колосникового настила, из трюма, оркестровой ямы и сейфа скатанных декораций следует предусматривать не менее двух эвакуационных выходов, за исключением специально оговоренных случаев.”.

Пункт 3.9 дополнить абзацами:

“д) из диспетчерских и контрольно-пропускных пунктов, отметка пола которых не превышает 15 м от уровня земли, а также из технических помещений любых категорий, расположенных на любом этаже (при отсутствии постоянных рабочих мест).

При этом выход допускается предусматривать непосредственно на лестницу 3-го типа;

е) с балконов зрительных залов зданий класса Ф2.1 вместимостью не более 50 человек;

ж) в зданиях классов Ф2–Ф4 с площадки (антресоли) площадью не более 200 м<sup>2</sup> и с одновременным пребыванием не более 50 человек, если расстояние от наиболее удаленной точки пола помещения по путям эвакуации до выхода в коридор (вестибюль) или наружу не превышает 25 м;

к) из павильонов общей площадью до 60 м<sup>2</sup> включительно.

Внутренние лестницы зданий классов Ф2–Ф4, ведущие на площадки (антресоли), допускается выполнять из материалов группы горючести не ниже Г1.”.

Пункт 3.14 дополнить абзацем:

“В киосках (павильонах) допускается устраивать входные двери роллетного типа. При этом должна быть предусмотрена возможность открывания ручную роллет с электрическим или пневматическим приводом механизмов открывания/закрывания.”.

Пункт 3.15а: первый абзац изложить в новой редакции:

“Технические подполья, предназначенные для прокладки инженерных коммуникаций, должны иметь выходы наружу непосредственно через двери размерами не менее 0,75×1,5 м. В качестве вторых эвакуационных выходов допускается использовать выходы по вертикальным металлическим лестницам-стремянкам через противопожарные люки в перекрытии размерами не менее 0,6×0,8 м. Двери выходов из помещений для размещения инженерного оборудования должны быть размерами не менее 0,75×1,5 м.”.

Пункт 3.55 изложить в новой редакции:

“3.55. При наличии в зданиях класса Ф1.1 палат с одновременным пребыванием более 10 человек из этих помещений следует предусматривать два эвакуационных выхода. В стационарах лечебно-профилактических учреждений лестницы 2-го типа в расчет эвакуации людей при пожаре не включаются.”.

Пункт 4.1 дополнить текстом (*выделено курсивом*):

“В зданиях высотой 30,0 м и более лестничные клетки следует предусматривать незадымляемыми. В зданиях класса Ф1.3 секционного типа с количеством этажей не более 16 допускается предусматривать вместо незадымляемых лестничных клеток типа Н1 лестничные клетки типа Н2 или Н3.”.

Пункт 4.7 изложить в новой редакции:

“4.7. Двери лестничных клеток всех типов, ведущие в общие коридоры или разделяющие их в соответствии с 4.8, двери лифтовых холлов и тамбу-

ров-шлюзов, двери выходов из помещений расчетной вместимостью более 50 человек, а также двери помещений с принудительной противодымной вентиляцией следует проектировать дымонепроницаемыми.”.

Изменение № 7 (с 01.05.2013 г.)

Пункт 1.7 изложить в новой редакции:

“1.7. В случае необходимости отступлений от требований настоящих норм эффективность мероприятий по обеспечению эвакуации людей из зданий (частей зданий) при пожаре необходимо оценивать расчетным путем.”.

Пункт 3.2: слова “непосредственно на лестницу 3-го типа” и “или на лестницу 3-го типа” исключить:

“3.2. Выходы являются эвакуационными, если они ведут из помещений:

б) любого надземного этажа — ~~непосредственно на лестницу 3-го типа~~, непосредственно в лестничную клетку или в коридор (холл), ведущий в лестничную клетку ~~или на лестницу 3-го типа~~; при этом лестничные клетки должны иметь выход наружу непосредственно или через вестибюль, отделенный от примыкающих коридоров перегородками с дымонепроницаемыми дверями.”.

#### ТКП 45-2.02-92–2007 “Ограничение распространения пожара в зданиях и сооружениях. Объемно-планировочные и конструктивные решения”

Изменение № 3 (с 01.01.2013 г.)

Пункт 4.2 дополнить абзацем:

“Допускается применение деревянных полов в спортивных залах средних школ.”.

Пункт 5.1.45: второй абзац изложить в редакции:

“При высоте атриума до 15 м смежные с ним помещения (либо галереи) должны быть отделены от атриума перегородками и перекрытиями с пределом огнестойкости не ниже REI (EI) 45. Конструкции, ограждающие общие пути эвакуации, должны соответствовать СНБ 2.02.02.

При оборудовании смежных с атриумом помещений (галерей) автоматическими установками пожаротушения предел огнестойкости перегородок не нормируется.”.

Пункт 5.1.46 изложить в новой редакции:

“Предел огнестойкости наружных конструкций атриума, несущих светопрозрачное заполнение, следует принимать по столбцам 4 и 6 таблицы 4\* ТКП 45-2.02-142.”.

Пункт 5.3.13 дополнить предложением:

“Несущие элементы планшета сцены (прогоны, балки, консоли, стойки) должны выполняться из негорючих материалов.”.

**СНиП II-35–76 “Нормы проектирования. Котельные установки”***Изменение № 7 (с 24.01.2013 г.)*

Раздел 20 дополнить терминологической статьей:

“Мини-котельная — котельная, предназначенная для теплоснабжения зданий или сооружений, с размещаемым в ней котельным оборудованием (котлоагрегатами) на любом виде топлива в количестве не более двух единиц тепловой мощностью до 100 кВт каждая, вспомогательным оборудованием, системами управления и защиты, представляющая собой встроенное помещение, пристроенное или отдельно стоящее здание.

Примечание. В мини-котельных допускается предусматривать установку до четырех единиц котлового оборудования суммарной мощностью до 200 кВт.

*Область проектирования мини-котельных*

Допускается проектирование пристроенных и встроенных мини-котельных для зданий высотой до 30,0 м любой степени огнестойкости:

- жилых;
- производственных, в том числе промышленных, сельскохозяйственных и складских;
- общественных, административных и бытовых.

Допускается проектирование только пристроенных мини-котельных на любом виде топлива для зданий:

- детских дошкольных учреждений и общеобразовательных школ;
- лечебных корпусов стационаров больниц и поликлиник;
- лечебных и спальных корпусов санаториев и учреждений отдыха;
- зданий с массовым пребыванием людей;
- домов престарелых и инвалидов.

Не допускается устройство мини-котельных:

- в промышленных, сельскохозяйственных и складских зданиях категорий А, Б и В по взрывопожарной и пожарной опасности;
- смежно, над и под лестничными клетками, помещениями с массовым пребыванием людей, жилыми помещениями и помещениями категорий А, Б, В1 и В2 по взрывопожарной и пожарной опасности.”.

*Введены новые ТНПА:*

- ТКП 45-2.02-142–2011. Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации (взамен СНБ 2.02.01–98);
- ТКП 45-2.02-242–2011. Ограничение распространения пожара. Противопожарная защита населенных пунктов и территорий предприятий. Строительные нормы проектирования (взамен СНБ 2.02.04–03);

- ТКП 45-1.01-234–2011. Специальные технические условия в области архитектуры и строительства. Порядок разработки, построения, изложения, согласования и утверждения;
- ТКП 45-4.03-267–2012. Газоснабжение и газопотребление. Строительные нормы проектирования;
- СТБ 2129–2010. Здания и сооружения. Порядок определения пожарной нагрузки.

*Изменения в ТНПА, введенные в 2012 г.:*

- Изм. № 5 к СНБ 2.02.02–01. Эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре;
- Изм. № 2 к ТКП 45-2.02-92–2007. Ограничение распространения пожара в зданиях и сооружениях. Объемно-планировочные и конструктивные решения;
- Изм. № 1 к ТКП 45-2.02-190–2010. Пожарная автоматика зданий и сооружений;
- Изм. № 1 к ТКП 45-2.02-138–2010. Противопожарное водоснабжение;
- Изм. № 7 к СНиП II-35–76. Котельные установки. Нормы проектирования.

*Изменения\*, внесенные в действующие ТНПА, утв. приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 28.05.2012 г. № 163:*

- Изм. № 5 к ТКП 45-2.02-34–2006. Здания и сооружения. Отсеки пожарные (с 01.01.2013 г.);
- Изм. № 6 к СНБ 2.02.02–01. Эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре (с 01.01.2013 г.);
- Изм. № 3 к ТКП 45-2.02-92–2007. Ограничение распространения пожара в зданиях и сооружениях. Объемно-планировочные и конструктивные решения (с 01.01.2013 г.).

*Изменения\*, внесенные в действующие ТНПА, утв. приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 09.11.2012 г. № 556:*

- Изм. № 6 к ТКП 45-2.02-34–2006. Здания и сооружения. Отсеки пожарные (с 01.05.2013 г.);
- Изм. № 7 к СНБ 2.02.02–01. Эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре (с 01.05.2013 г.).

*Проекты изменений в ТНПА, введение которых предполагается в 2013 г.:*

- Изм. № 2 к ТКП 45-3.02-25–2006. Гаражи-стоянки и стоянки автомобилей;
- Изм. № 6 к СНБ 4.02.01–03. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха;
- Изм. № 7 к ТКП 45-2.02-34–2006. Здания и сооружения. Отсеки пожарные;
- Изм. № 3 к ТКП 45-2.02-138–2009. Противопожарное водоснабжение;

\* Действуют только на территории Республики Беларусь.

- Изм. № 2 к ТКП 45-2.02-190–2010. Пожарная автоматика зданий и сооружений.

### Заключение

В настоящее время назрела объективная необходимость реформирования системы пожарной безопасности, предполагающая переход от принципов реагирования на страховые случаи к их профилактике. При этом основной целью реформы является управление рисками. Достижение цели возможно с помощью построения системы управления профессиональными рисками пожарной безопасности на уровне отдельной организации и на различных уровнях государственного управления охраной труда. Специалистам, разрабатывающим стандарты пожарной безопасности, нужно больше внимания уделять

гармонизации нормативов, применяемых в различных областях. Изучение и применение этих документов также способствует улучшению культуры безопасности.

### Сокращения

|      |                                              |
|------|----------------------------------------------|
| ТНПА | — Технические нормативные правовые акты      |
| ТКП  | — Технический кодекс установившейся практики |
| СТБ  | — Система стандартов пожарной безопасности   |
| ППБ  | — Правила пожарной безопасности              |
| НПБ  | — Нормы пожарной безопасности                |
| СНБ  | — Строительные нормы Республики Беларусь     |

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О пожарной безопасности (с изм. и доп.) : Федер. закон от 21.12.94 г. № 69-ФЗ; принят Гос. Думой 18.11.94 г.; введ. 26.12.94 г. // Собр. законодательства РФ. — 1994. — № 35. — Ст. 3649.
2. ГОСТ 12.2.003–91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. — Введ. 01.01.92 г. — М. : Изд-во стандартов, 1991; Стандартиформ, 2007.
3. ISO/IEC Guide 51:1999. Safety aspects — Guidelines for their inclusion in standards (Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты). Опубл. 01.11.1999 г. — 14 с. URL : [www.standards.ru/doc.aspx](http://www.standards.ru/doc.aspx) (дата обращения: 25.09.2013 г.).
4. ISO/IEC Guide 73:2009. Risk management — Vocabulary (Управление рисками. Словарь). Опубл. 13.11.2009 г. — 24 с. URL : [www.standards.ru/doc.aspx](http://www.standards.ru/doc.aspx) (дата обращения: 25.09.2013 г.).
5. ГОСТ Р 51898–2002. Аспекты безопасности. Правила включения в стандарты. — Введ. 01.01.2003 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002; Стандартиформ, 2006.
6. BS OHSAS 18001:2007. Occupational health and safety management systems — Requirements (Системы менеджмента охраны труда и техники безопасности. Требования). — Введ. 31.07.2007 г. — 22 с. URL : [www.standards.ru/doc.aspx](http://www.standards.ru/doc.aspx) (дата обращения: 25.09.2013 г.).
7. ГОСТ Р ИСО 13849-1–2003. Безопасность оборудования. Элементы систем управления, связанные с безопасностью. Часть 1. Общие принципы конструирования. — Введ. 01.01.2005 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2004.
8. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ; принят Гос. Думой 15.12.2002 г.; одобр. Сов. Федерации 18.12.2002 г. // Российская газета. — 2002. — № 245.
9. О внесении изменений в Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” : Федер. закон РФ от 10.07.2012 г. № 117-ФЗ; принят Гос. Думой 20.06.2012 г.; одобр. Сов. Федерации 27.06.2012 г.; введ. 12.07.2012 г. // Российская газета — 13.07.2012 г. — Федер. вып. № 5832. URL : [www.rg.ru/2012/07/13/reglament-dok.html](http://www.rg.ru/2012/07/13/reglament-dok.html) (дата обращения: 25.09.2013 г.).

*Материал поступил в редакцию 15 октября 2013 г.*

English

## NEW REQUIREMENTS PROFESSIONAL RISKS IN FIRE SAFETY

**BORKOVSKAYA V. G.**, Candidate of Economic Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: [victoria@borkovskaya.com](mailto:victoria@borkovskaya.com))

### ABSTRACT

This article is dedicated to supplement and clarify the new requirements for fire safety of buildings and structures. The article describes the main national and international safety standards. The defini-

tion of the terms “security”, “out the dangers” and “risk” is considered. There have been highlighted changes to the requirements for fire safety of buildings and structures, which entered into force on 1 January 2013. Also there were discussed the changes that are lawful in the spring of 2013 and the changes are only in the design.

**Keywords:** professional risks; complex safety; fire safety; technical regulations; standards harmonization.

## REFERENCES

1. About fire safety. Federal Law on 21.12.1994 No. 69. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 1994, no. 35, art. 3649 (in Russian).
2. *Interstate Standard 12.2.003–91. Occupational safety standards system. Industrial equipment. General safety requirements*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1991; Standartinform Publ., 2007 (in Russian).
3. *ISO/IEC Guide 51:1999. Safety aspects — Guidelines for their inclusion in standards*. November 1, 1999. 14 p. Available at: [www.standards.ru/doc.aspx](http://www.standards.ru/doc.aspx) (Accessed 25 September 2013).
4. *ISO/IEC Guide 73:2009. Risk management — Vocabulary*. November 13, 2009. 24 p. Available at: [www.standards.ru/doc.aspx](http://www.standards.ru/doc.aspx) (Accessed 25 September 2013).
5. *State Standard of the Russian Federation 51898–2002. Safety aspects. Guidelines for their inclusion in standards*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2002; Standartinform Publ., 2006 (in Russian).
6. *BS OHSAS 18001:2007. Occupational health and safety management systems. Requirements*. 22 p. Available at: [www.standards.ru/doc.aspx](http://www.standards.ru/doc.aspx) (Accessed 25 September 2013).
7. *National Standard of the Russian Federation ISO 13849-1–2003. Safety of machinery. Safety-related parts of control systems. Part 1. General principles for design*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2004 (in Russian).
8. On technical regulation. Federal Law on 27.12.2002 No. 184. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2002, no. 245 (in Russian).
9. About modification of Federal Law “Technical regulations on fire safety”. Federal Law on 12.07.2012 No. 117. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 13.07.2012, no. 5832. Available at: [www.rg.ru/2012/07/13/reglament-dok.html](http://www.rg.ru/2012/07/13/reglament-dok.html) (Accessed 25 September 2013) (in Russian).



# Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

**А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов.**  
**ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**  
**БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие**  
 / Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова. —  
 М. : ООО “Издательство “Пожнаука”, 2010. — 210 с.



В учебно-справочном пособии изложены основы современного подхода к проблеме комплексного обеспечения безопасности объектов хозяйствования с помощью технических средств и систем; приведены сведения о технической эксплуатации комплексных систем безопасности, а также справочно-методическая информация для решения практических задач по эксплуатации. Дано основное содержание эксклюзивной разработки — ГОСТ Р 53704–2009 “Системы безопасности комплексные и интегрированные”, входящего в отраслевой комплект нормативно-технической документации по данной проблеме.

Книга предназначена для практических работников в области систем безопасности и может быть использована как учебное пособие для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.

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

**Р. С. ВОЛКОВ**, ассистент, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: romanvolkov@tpu.ru)

**Г. В. КУЗНЕЦОВ**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: elf@tpu.ru)

**П. А. СТРИЖАК**, д-р физ.-мат. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: pavelspa@tpu.ru)

УДК 536.4

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ КАПЕЛЬ РАСПЫЛЕННОЙ ТУШАЩЕЙ ЖИДКОСТИ НА ВХОДЕ В ЗОНУ ПЛАМЕНИ

Проведено экспериментальное исследование особенностей движения капель типичной распыленной тушащей жидкости — воды на входе в зону пламени. Проанализированы процессы изменения направления движения жидкости на входе в зону пламени и формирования контуров завихрений двухфазных газо- и парожидкостных потоков. Определены скорости продуктов сгорания и капель распыленной воды. Проанализировано явление коагуляции капель в распыленном потоке. Установлены минимальные размеры водяных капель, при которых обеспечивается их входение в зону пламени и полное испарение при движении через высокотемпературные продукты сгорания.

**Ключевые слова:** распыленная вода; капли; продукты сгорания; пламя; поля скоростей; коагуляция.

### Введение

Целесообразность использования распыленной специальной водой для локализации пламени и ликвидации возгораний широко обсуждается в последние годы [1–7]. Экспериментальные и теоретические исследования [1–7] показывают возможность существенного повышения эффективности тушения пожаров с использованием распыленной воды (нередко рекомендуется приблизить характерные размеры капель к уровню десятков микрон). Тем не менее традиционно подчеркивается [1–3], что при создании соответствующих технологий тушения возникают сложности вследствие отсутствия научно обоснованных положений и следствий.

В течение последних лет разработана группа физических и математических моделей тепло-массо-переноса [8–16] для исследования фазовых переходов при испарении одиночных и групп капель тушащей жидкости, движущихся через пламя в условиях сложного сопряженного конвективного, радиационного и кондуктивного теплообмена. Установлены интегральные характеристики испарения капель и распыленных потоков. Определено влияние скорости, размеров и температуры капель на степень полноты их испарения. Важно отметить,

что постановки [8–16] позволяют моделировать процессы, происходящие непосредственно после попадания капель в зону пламени.

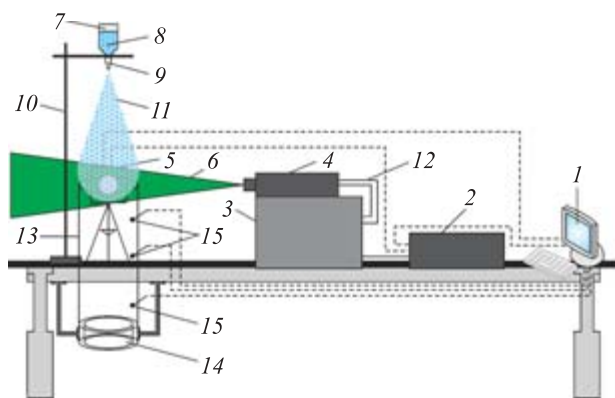
Известны результаты экспериментальных исследований испарения потока распыленной воды, движущегося через пламя [17], с применением современной измерительной PIV-системы, которые показывают, что некоторые капли (до 15–20 % всего потока) изменяют направление своего движения на противоположное при входе в зону пламени или полностью испаряются. Выявить такие закономерности с использованием моделей, представленных в [8–16], достаточно трудно. В силу существенной нестационарности поведения “языков” пламени и наличия явлений завихрения потока газов в реальных условиях разработать адекватные теоретические модели практически невозможно. В связи с этим представляет интерес экспериментальный анализ поведения капель типичной распыленной тушащей жидкости — воды на входе в зону пламени.

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование с использованием современной измерительной PIV-системы особенностей движения капель распыленной жидкости на входе в зону пламени.

### Экспериментальная установка и методы исследований

При проведении эксперимента использовалась схема, предусматривающая распыление над пламенем жидкости — смеси воды с введенным в нее для повышения качества видеоизображений нанопорошком диоксида титана в концентрации 0,5 % (рис. 1). Рабочая жидкость 8 из емкости 7, закрепленной на штативе 10, подавалась в распылитель 9, предназначенный для формирования потока распыленной жидкости с определенными параметрами. В основании трубы 13 устанавливался полый цилиндр 14, во внутреннее пространство которого заливалось и поджигалось типичное жидкое топливо со стабильными свойствами (керосин). Поток капель рабочей жидкости после испускания его распылителем освещался световым “ножом” 6 лазера 4 на входе в цилиндрический канал 13, и проводилась процедура видеофиксации образов капель.

Для регистрации видеogramм с изображениями движущихся капель жидкости и продуктов сгорания использовалась измерительная PIV-система, состоящая из генератора лазерного излучения 3, двойного твердотельного импульсного лазера 4, кросскорреляционной камеры 5, синхронизатора 2 и ПК 1. С использованием специализированного программного обеспечения выполнялась процедура кадрирования результатов видеосъемки (с задержкой между кадрами 100 мс), строились поля скоростей потока “трассирующих” частиц, а также определялись скорости и линейные размеры движущихся капель жидкости. Описание типичных экспериментальных методик с использованием высокоскоростных измерительных PIV-систем приведено в [18].



**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки: 1 — ПК; 2 — синхронизатор ПК, камеры и лазера; 3 — генератор лазерного излучения; 4 — двойной твердотельный импульсный лазер; 5 — кросскорреляционная камера; 6 — световой “нож”; 7 — емкость с рабочей жидкостью; 8 — рабочая жидкость; 9 — распылитель; 10 — штатив; 11 — капли рабочей жидкости; 12 — канал движения охлаждающей жидкости лазера; 13 — цилиндр из жаростойкого светопрозрачного материала; 14 — полый цилиндр, во внутреннее пространство которого залита горючая жидкость; 15 — термопары

Серии экспериментов выполнялись за короткие интервалы времени, что позволило максимально снизить расхождение условий проведения отдельных экспериментов, а также обеспечить постоянство состава рабочей жидкости во всех экспериментах.

Для контроля температуры пламени (продуктов сгорания) в цилиндрическом канале 13 установки (см. рис. 1) использовалась методика термопарных измерений [19]. Измерения температуры выполнялись хромель-копелевыми термопарами 15 на разных по высоте отметках в зоне движения продуктов сгорания (0,15; 0,5 и 0,85 м). Средняя температура составляла  $(1070 \pm 30)$  К. Этот результат позволяет сделать допущение о некотором постоянстве температуры пламени в экспериментах.

В качестве интегральных параметров, характеризующих исследуемый процесс на входе в зону пламени, были выбраны скорость продуктов сгорания, скорость и характерные размеры капель воды. Начальные размеры генерируемых водяных капель определялись настройками распылителя и варьировались в широком диапазоне —  $0,040 < R_d < 0,450$  мм. В процессе обработки полученных видеogramм для оценки влияния размеров водяных капель на степень их уноса высокотемпературными продуктами сгорания все капли в потоке были разделены по размерам на пять групп:  $0,040 \leq R_d \leq 0,090$  мм;  $0,090 < R_d \leq 0,160$  мм;  $0,160 < R_d \leq 0,230$  мм;  $0,230 < R_d \leq 0,300$  мм;  $0,300 < R_d \leq 0,450$  мм.

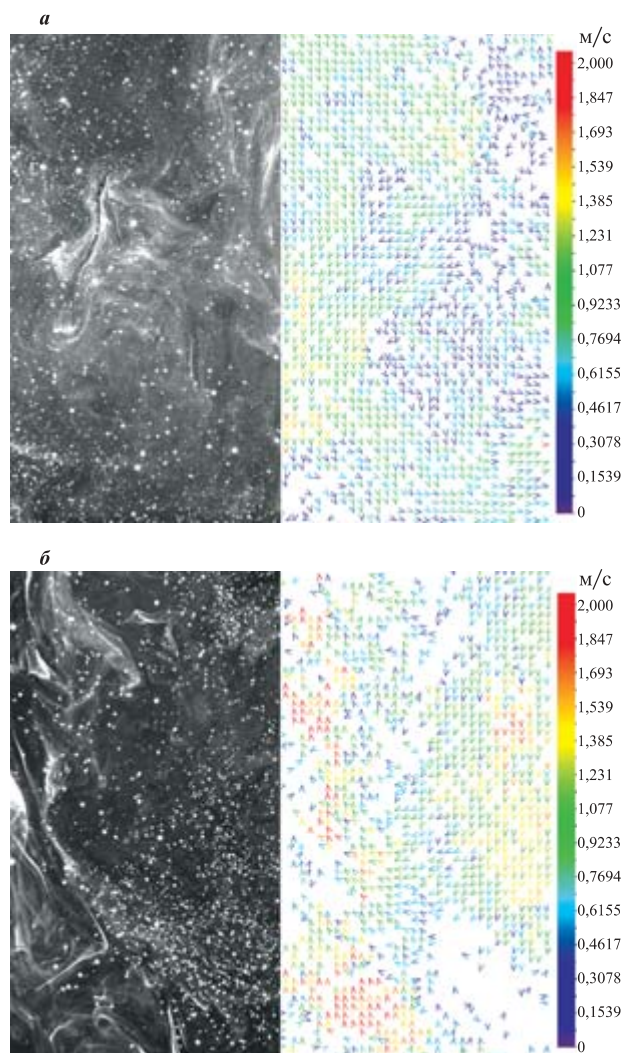
В основе обработки видеоизображений применяемой PIV-системой лежит кросскорреляционный алгоритм, представляющий собой метод быстрого преобразования Фурье с добавлением условий выполнения корреляционной теоремы [18]. Для минимизации случайных корреляций в процессе обработки видеogramм применялись наложенные (top-hat) весовые функции [18].

Погрешности определения размеров капель согласно методике [20] составляли не более 0,001 мм. Погрешности определения скоростей продуктов сгорания и капель жидкости не превышали 2 % [18].

### Результаты экспериментов и их обсуждение

Полученные при проведении серий опытов типичные видеокдры распыленной жидкости на входе в область высокотемпературных продуктов сгорания, а также соответствующие им поля скоростей приведены на рис. 2.

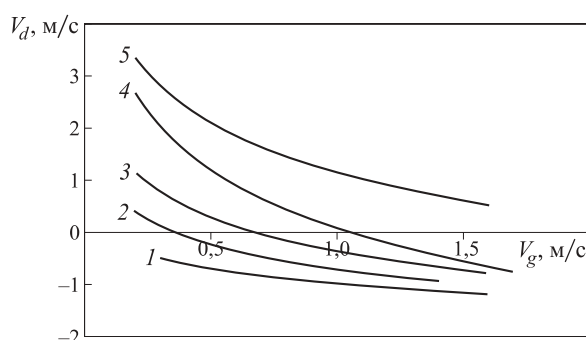
Эти видеogramмы иллюстрируют процессы, происходящие непосредственно при смешивании парожидкостного распыленного потока с продуктами сгорания (формирование разнородных вихревых структур в рабочей области светового “ножа” лазера). Причем, исходя из анализа полученных видео-



**Рис. 2.** Видеogramмы и поля скоростей “трассирующих” частиц на входе в зону пламени при развороте капель распыленного потока жидкости вправо (а) и влево (б) относительно своей траектории движения

грамм, можно сделать заключение о том, что на степень уноса капель жидкости под действием восходящих высокотемпературных газов существенно влияют траектория движения и размеры самих капель. Полученный результат позволяет частично пересмотреть практические рекомендации, сформулированные по результатам численного моделирования [8–16] и серий экспериментов [17]. В частности, параметры распыления жидкости для локализации пламени и тушения пожаров следует задавать не только исходя из степени полноты их испарения в зоне горения, но и с учетом возможного уноса некоторой доли капель жидкости на входе в пламя.

На рис. 3 приведены зависимости относительных скоростей капель рабочей жидкости от скорости потока восходящих продуктов сгорания для пяти выбранных групп капель с различными характерными размерами. Значения скорости капель  $V_d < 0$  м/с на рис. 3 соответствуют изменению направления их



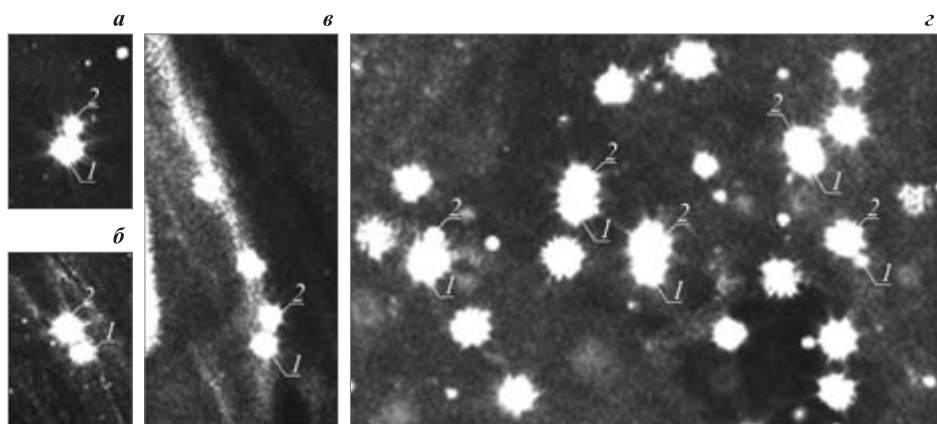
**Рис. 3.** Зависимость скорости движения капель жидкости  $V_d$  различных размеров от скорости продуктов сгорания  $V_g$ : 1 —  $0,040 \leq R_d \leq 0,090$  мм; 2 —  $0,090 < R_d \leq 0,160$  мм; 3 —  $0,160 < R_d \leq 0,230$  мм; 4 —  $0,230 < R_d \leq 0,300$  мм; 5 —  $0,300 < R_d \leq 0,450$  мм

движения на противоположное — совпадающее с вектором скорости продуктов сгорания  $V_g$ . При условии противоположных направлений движения высокотемпературных продуктов сгорания и капель распыленной жидкости (как, например, в начальное время эксперимента)  $V_d > 0$  м/с.

Приведенные на рис. 3 зависимости получены при обработке результатов 10 серий экспериментов. Для каждой группы капель выбиралось от 15 до 20 значений скорости потока восходящих продуктов сгорания. Для каждой “экспериментальной точки” определялось от 5 до 10 значений скорости капель, соответствующих выбранному значению скорости газов. По окончании выборки проводилась аппроксимация и строились соответствующие зависимости (см. рис. 3).

Из рис. 3 видно, что для капель “критическими” скоростями потока газов (при которых водяные капли уносятся из “входной зоны” пламени) являются скорости:  $V_g^{\text{lim}} = 0,25$  м/с при  $0,040 \leq R_d \leq 0,090$  мм;  $V_g^{\text{lim}} = 0,35$  м/с при  $0,090 < R_d \leq 0,160$  мм;  $V_g^{\text{lim}} = 0,7$  м/с при  $0,160 < R_d \leq 0,230$  мм;  $V_g^{\text{lim}} = 1,05$  м/с при  $0,230 < R_d \leq 0,300$  мм. И только капли размером  $0,300 < R_d \leq 0,450$  мм практически не подвержены развороту и в полном объеме входят в зону пламени (см. рис. 3).

По полученным видеogramмам (см. рис. 2) для проведенного цикла опытов определены средние скорости потока восходящих высокотемпературных продуктов сгорания —  $V_g^{\text{mid}} = 0,6 \pm 1,0$  м/с. Они позволили установить, что для реализации условий прохождения капель жидкости в зону пламени необходимо рабочую жидкость распылить до  $R_d > 0,160$  мм. Анализ результатов ранее выполненных экспериментов [17] показывает, что при прохождении через пламя высотой 1 м капель воды с характерными размерами  $0,175 < R_d < 0,275$  мм испаряется 85 % капель, а капли размером  $R_d < 0,175$  мм испаряются полностью. Поэтому для пламени высотой 1–2 м (типичные значения для пожаров в по-



**Рис. 4.** Иллюстрации явления коагуляции капель (1, 2 — первая и вторая сливающиеся капли) при различных механизмах ее реализации: а — торможение идущей спереди капли и ее слияние с последующей; б, в — слияние капель при попутном движении в завихрениях высокотемпературных газов; г — хаотичное слияние капель при большой концентрации их в потоке

мещениях) можно задать верхнюю границу желаемого диапазона измельчения капель (размеров  $R_d$ ) и их распыления. В частности, серии выполненных экспериментов показали, что капли с начальными размерами  $0,160 < R_d < 0,175$  мм практически в полном объеме входят в зону пламени и при движении в нем полностью испаряются.

В то же время важно учитывать, что при завихрениях потока газов на входе в зону пламени малые капли ( $R_d < 0,160$  мм) уносятся восходящими продуктами сгорания и сливаются с другими поступающими сверху каплями. Вследствие этого происходит изменение направления их движения, и объединенные капли частично (до 15–20 %) проходят через “входную зону” пламени. Эти процессы реализуются циклически.

Выполненные эксперименты показали также, что определяющую роль при смешении газо- и парожидкостных потоков на входе в зону пламени играет явление коагуляции (слияния) капель жидкости (рис. 4, а–г). Это явление наблюдается между каплями, имеющими, как правило, различные размеры, скорости и даже направления движения в потоке газов.

Исходя из результатов эксперимента, можно выделить два основных механизма возникновения явления коагуляции капель:

- первый (см. рис. 4,а) — поток уходящих газов способствует торможению впереди идущих водяных капель, их развороту и последующему слиянию с идущими навстречу каплями жидкости;
- второй (см. рис. 4,б) — капли, попадая в завихрения потока высокотемпературных продуктов сгорания, следуют в его течении и сливаются между собой.

Последнее утверждение наглядно иллюстрирует и рис. 4,в, где группа из четырех капель, попавшая в завихрения потока уходящих газов, постепенно сливается в некоторую объединенную структуру.

Следует отметить, что проявление эффекта коагуляции существенно зависит от концентрации ка-

пель в потоке распыленной жидкости. Так, при достаточно малых концентрациях капель жидкости их слияние носит случайный (практически единичный) характер (см. рис. 4, а–в). С увеличением концентрации водяных капель в рабочей области наблюдается совершенно противоположная картина (см. рис. 4,г): слияние капель становится уже не случайностью, а скорее закономерностью. При этом реализуются оба описанных выше механизма коагуляции.

### Заключение

Проведенные с использованием высокоскоростной измерительной PIV-системы экспериментальные исследования позволили проанализировать основные закономерности смешения газо- и парожидкостных потоков (продуктов сгорания, капель воды и водяных паров) на входе в пламя, достаточно типичное по размерам для пожаров в помещениях.

Установлено определяющее влияние скоростей движения продуктов сгорания и характерных размеров отдельных капель жидкости на степень уноса последних высокотемпературными газами. Показано, что для обеспечения вхождения капель в область пламени рабочую жидкость необходимо распылить до характерных размеров капель  $R_d \geq 0,160$  мм.

Учитывая результаты теоретических [8–16] и экспериментальных [17] исследований степени полноты испарения распыленной жидкости в зоне пламени можно рекомендовать для пламени высотой до 2 м (соответствующей типичным пожарам в помещениях) размеры капель выдерживать в диапазоне  $0,160 < R_d < 0,175$  мм. При этом согласно [8–16] важно не только измельчение капель жидкости, но и их удаление относительно друг друга (например, послойное распыление тушащей среды с определенными временными задержками).

\*\*\*

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента РФ (№ МК-620.2012.8) и РФФИ (№ 13-08-90703).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K.* Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles // *Fire Safety Science : Proceeding of Eight International Symposium, 2005.* — Vol. 27. — P. 753–764.
2. *Соколов В. В., Тугов А. Н., Гришин В. В., Камышев В. Н.* Автоматическое водяное пожаротушение с применением тонкораспыленной воды на электростанциях // *Энергетик.* — 2008. — № 6. — С. 37–38.
3. *Копылов Н. П., Чибисов А. Л., Душкин А. Л., Кудрявцев Е. А.* Изучение закономерностей тушения тонкораспыленной водой модельных очагов пожара // *Пожарная безопасность.* — 2008. — № 4. — С. 45–58.
4. *Корольченко Д. А., Громоной В. Ю., Ворогушин О. О.* Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // *Пожаровзрывобезопасность.* — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 54–57.
5. *Саламов А. А.* Современная система пожаротушения “водяной туман” высокого давления // *Энергетик.* — 2012. — № 3. — С. 16–18.
6. *Андрюшкин А. Ю., Пелех М. Т.* Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой // *Проблемы управления рисками в техносфере.* — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 64–69.
7. *Ковалев А. Н., Журавлева Л. А.* Перспективные направления тушения низовых лесных и степных пожаров // *Научная жизнь.* — 2012. — № 4. — С. 153–157.
8. *Андреев Г. Г., Глушков Д. О., Панин В. Ф., Стрижак П. А.* Тепломассоперенос при взаимодействии диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // *Бутлеровские сообщения.* — 2012. — Т. 31, № 8. — С. 86–94.
9. *Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Численное исследование тепломассопереноса при движении “тандела” капель воды в высокотемпературной газовой среде // *Тепловые процессы в технике.* — 2012. — Т. 4, № 12. — С. 531–538.
10. *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.
11. *Стрижак П. А.* Численное исследование условий испарения совокупности капель воды при движении в высокотемпературной газовой среде // *Пожаровзрывобезопасность.* — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 26–31.
12. *Волков Р. С., Высокоморная О. В., Стрижак П. А.* Численное исследование условий взаимодействия диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // *Безопасность труда в промышленности.* — 2012. — № 10. — С. 74–79.
13. *Стрижак П. А.* Численный анализ процесса испарения капли, движущейся в струе воды через высокоскоростные продукты сгорания // *Пожаровзрывобезопасность.* — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 17–22.
14. *Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Тепломассоперенос при движении капель воды в высокотемпературной газовой среде // *Инженерно-физический журнал.* — 2013. — Т. 86, № 1. — С. 59–65.
15. *Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Влияние распределения капель воды в “водяном снаряде” на температуру в его следе // *Пожаровзрывобезопасность.* — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 9–17.
16. *Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Влияние формы капли воды на результаты математического моделирования ее испарения при движении через высокотемпературные продукты сгорания // *Тепловые процессы в технике.* — 2013. — Т. 5, № 6. — С. 254–261.
17. *Волков Р. С., Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Экспериментальное исследование закономерностей испарения тонкораспыленной воды при движении через высокотемпературные продукты сгорания // *Бутлеровские сообщения.* — 2013. — Т. 35, № 9. — С. 38–46.
18. *Raffel M., Willert C., Kompenhans J.* Particle image velocimetry. — Berlin : Springer Verlag, 1998. — 253 p.
19. *Полежаев Ю. В., Юрьевич Ф. Б.* Тепловая защита. — М. : Энергия, 1976. — 391 с.
20. *Шенк Х.* Теория инженерного эксперимента. — М. : Мир, 1972. — 381 с.

Материал поступил в редакцию 26 июля 2013 г.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SPRAYED EXTINGUISHING LIQUID DROPS MOVING FEATURES ON THE ENTERING INTO THE FLAME

**VOLKOV R. S.**, Assistant, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: romanvolkov@tpu.ru)

**KUZNETSOV G. V.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: elf@tpu.ru)

**STRIZHAK P. A.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: pavelspa@tpu.ru)

### ABSTRACT

The diagram, technique and results of series experiments to investigation of processes on the entering of typical extinguishing liquid — water drops into the flame are proposed. Modern high-speed measuring equipment operating on the basis of the method digital “tracer” visualization PIV (Particle Image Velocimetry) is used for the recording and processing of video frames in experiments. It is established that the measurement errors of liquid droplet sizes are no more than 0.001 mm, speed of the combustion products and water drops — 2 %.

Video frames and the velocities fields, illustrating the entering of spray liquid flow (water with a “tracer” particles of titanium dioxide nanopowder) on the high-temperature combustion products are presented. Typical processes of turning the liquid droplets and the formation of vortex structures are analyzed. Significant effect of the velocity rising combustion products and sizes of water droplets on the degree of ash from the combustion zone is established. Depending for water drops velocities on the combustion products rates for different sizes drops are showed. Critical velocities of the combustion products in which they are entrainment of water droplets with different sizes are determined.

The phenomenon of coagulation (merge) drops inherent in the process under investigation is analyzed. Two mechanisms for the origin and occurrence of this phenomenon are identified. The corresponding video frames are presented.

The practical guidance on the parameters of liquid spraying (water drops sizes), which provide the entry of latest into the flames and the complete evaporation of the motion in the combustion zone for the conditions are formulated.

**Keywords:** sprayed water; drops; combustion products; flame; velocities fields; coagulation.

### REFERENCES

1. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K. Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles. *Fire Safety Science: Proceeding of Eight International Symposium*, 2005, vol. 27, pp. 753–764.
2. Sokovikov V. V., Tugov A. N., Grishin V. V., Kamyshev V. N. Avtomaticheskoye vodyanoye pozharotusheniye s primeneniym tonkoraspylennoy vody na elektrostantsiyakh [Automatic water fire extinguishing with using of sprayed water at power plants]. *Energetik — Power Engineer*, 2008, no. 6, pp. 37–38.
3. Kopylov N. P., Chibisov A. L., Dushkin A. L., Kudryavtsev E. A. Izucheniye zakonornostey tushe-niya tonkoraspylennoy vodoy modelnykh ochagov pozhara [Studying of suppression regularities by sprayed water of model fire seats]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 4, pp. 45–58.
4. Korol’chenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysokoykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 54–57.
5. Salamov A. A. Sovremennaya sistema pozharotusheniya “vodyanoy tuman” vysokogo davleniya [Modern fire suppression high pressure system “water mist”]. *Energetik — Power Engineer*, 2012, no. 3, pp. 16–18.

6. Andryushkin A. Yu., Pelekh M. T. Effektivnost pozharotusheniya tonkoraspylennoy vody [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.
7. Kovalev A. N., Zhuravleva L. A. Perspektivnyye napravleniya tusheniya nizovykh lesnykh i stepnykh pozharov [Perspective directions of the ground forest and steppe fires firefighting]. *Nauchnaya zhizn — Scientific Life*, 2012, no. 4, pp. 153–157.
8. Andreev G. G., Glushkov D. O., Panin V. F., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri vzaimodeystvii dispergirovannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Heat and mass transfer in the interaction of the dispersed burning phlegmatizer with high-temperature combustion products]. *Butlerovskiye soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2012, vol. 31, no. 8, pp. 86–94.
9. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye teplomassoperenosa pri dvizhenii “tandema” kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical research of heat-and-mass transfer at movement of water drops “tandem” in the high temperature gas mixture]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Engineering*, 2012, vol. 4, no. 12, pp. 531–538.
10. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennaya otsenka optimalnykh razmerov kapel vody v usloviyakh yeye raspyleniya sredstvami pozharotusheniya v pomeshcheniyakh [Numerical estimation of optimum sizes for water drops at the conditions of its dispersion by firefighting devices at place-ments]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 74–78.
11. Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy ispareniya sovokupnosti kapel vody pri dvizhenii v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical investigation of evaporation conditions for set of water drops at the moving after high temperature gas mixture]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 26–31.
12. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy vzaimodeystviya dispergirovannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Numerical investigation of interaction conditions of the dispersed burning phlegmatizer with high temperature combustion products]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety of Work in Industry*, 2012, no. 10, pp. 74–79.
13. Strizhak P. A. Chislennyy analiz protsessa ispareniya kapli, dvizhushcheysya v struye vody cherez vysokoskorostnyye produkty sgoraniya [Numerical analysis of evaporation process for droplet moving at the water jet through high temperature combustion products]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 17–22.
14. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri dvizhenii kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Heat-and-mass transfer at water drops movement in the high-temperature gas mixture]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 59–65.
15. Zhdanova A. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye raspredeleniya kapel vody v “vodyanom snaryade” na temperaturu v yego slede [Influence of water droplets distribution in the “water shell” on temperature in follow movement]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 9–17.
16. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye formy kapli vody na rezultaty matematicheskogo modelirovaniya yeye ispareniya pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [Influence of a water drop form on a mathematical modeling results of its evaporation at movement through high-temperature combustion products]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Engineering*, 2013, no. 6, pp. 254–261.
17. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye zakonornostey ispareniya tonkoraspylennoy vody pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [Experimental research of evaporation regularities for pulverized water moving through high-temperature combustion products]. *Butlerovskiye soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2013, vol. 35, no. 9, pp. 38–46.
18. Raffel M., Willert C., Kompenhans J. *Particle image velocimetry*. Berlin, Springer Verlag, 1998. 253 p.
19. Polezhayev Yu. V., Yuryevich F. B. *Teplovaya zashchita* [Thermal protection]. Moscow, Energiya Publ., 1976. 391 p.
20. Shenk Kh. *Teoriya inzhenernogo eksperimenta* [Theory of engineering experiment]. Moscow, Mir Publ., 1972. 381 p.

**С. Г. АЛЕКСЕЕВ**, канд. хим. наук, доцент, чл.-корр. ВАН КБ, старший научный сотрудник Научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а), старший научный сотрудник Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Alexshome@mail.ru)

**А. С. АВДЕЕВ**, начальник сектора ГУ “Судебно-экспертное учреждение ФПС “Испытательная пожарная лаборатория по Пермскому краю” (Россия, 614990, г. Пермь, ул. Большевикская, 53а; e-mail: asipl@ugps.perm.ru)

**Н. М. БАРБИН**, д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой химии Уральской государственной сельскохозяйственной академии (Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42), старший научный сотрудник Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: NMBarbin@mail.ru)

**Е. С. ГУРЬЕВ**, канд. техн. наук, доцент, заместитель директора Научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: sec@wekt.ru)

УДК 614.84:665.74

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ НА ПРИМЕРЕ КЕРОСИНА МАРКИ РТ. VII. BST-МЕТОДЫ\*

Выполнен расчет параметров взрыва топливовоздушной смеси по методам BST1, BST2 и FreeBST на примере керосина РТ. Проведен сравнительный анализ прогноза зон разрушения по методам BST, TNO и отечественным методикам. Показана хорошая сопоставимость результатов, полученных по BST, мультиэнергетическому методу TNO и по методике РБ Г-05-039–96.

**Ключевые слова:** взрыв; керосин; топливовоздушная смесь; избыточное давление.

В предыдущих работах [1–6] нами анализировались возможности отечественных расчетных методов оценки пожаровзрывоопасности топливовоздушных смесей (ТВС) Госатомнадзора, Госгортехнадзора, МЧС России и Нидерландской организации прикладных научных исследований (TNO — Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek) на примере решения задачи, связанной с разлитием авиационного топлива марки РТ. В настоящей статье продолжено рассмотрение возможностей существующих методик оценки взрывопожароопасности ТВС. Объектом настоящего исследования явились различные версии метода BST (Baker–Strehlow–Tang method, или метода Бейкера–Стрелов–Тэнга) [7–11], которые разрабатывались в развитие методики МЕ (Multi-energy method), или мультиэнергетического метода TNO [12, 13]. Однако они не смогли ее заменить и в настоящее время рассматриваются в качестве одного из основных подходов к прогнозированию взрывов газопаровоздушных смесей (ГПВС), которые за рубежом

классифицируются как VCE (vapor cloud explosions) [14–16].

В BST-методах [7–11] соединены идеология Стрелов (Strehlow) [17] о зависимости избыточного давления взрыва ГВПС от скорости горения (распространения фронта пламени) горючей смеси (ГС) и подход МЕ-методики (расчет избыточного давления взрыва через приведенные расстояние и давление взрыва) [12, 13]. Скорость горения (распространения фронта пламени) выбирается на основании трех факторов: реакционной способности горючего вещества (ГВ), конфигурации распространения фронта горения (взрыва) газопаровоздушного облака и вида окружающего пространства.

При классификации реакционной способности ГВ в BST-методах использован подход TNO [13, 14], согласно которому все горючие газы и жидкости делятся на три класса: слабые, или *Low* (метан, угарный газ); сильные, или *High* (водород, ацетилен, этилен, этиленоксид и пропиленоксид); средние, или *Medium* (все остальные горючие газы и жидкости).

Конфигурации распространения фронта горения (взрыва) газопаровоздушного облака разбиты на четыре вида: 1D, 2D, 3D и 2,5D (рис. 1). Их можно рассматривать как своеобразные степени свободы при

\* Продолжение. Начало см. в журнале “Пожаровзрывобезопасность”, № 5 за 2010 г., № 1 за 2011 г., № 1, № 6 и № 8 за 2012 г., № 7 за 2013 г.

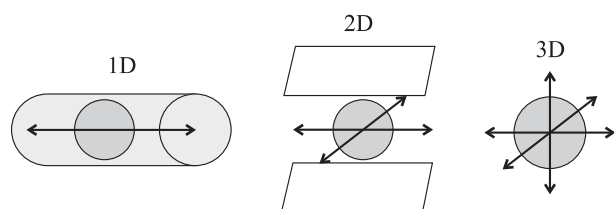


Рис. 1. Конфигурации распространения фронта горения (взрыва) газопаровоздушного облака

Таблица 1. Классификация окружающего пространства в BS- и BST1-методах

| Класс                                              | Степень блокирования, % | Количество слоев блокирования |
|----------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Low — слабозагроможденное и свободное пространство | Менее 10                | Не более 2                    |
| Medium — среднезагроможденное пространство         | От 10 до 40             | 2–3                           |
| High — сильнозагроможденное пространство           | Более 40                | Не менее 3                    |

Таблица 2. BS- и BST1-матрица для определения скорости горения (распространения фронта горения) в единицах Маха ( $M_w$ )

| Реакционная способность  | Класс окружающего пространства |              |              |
|--------------------------|--------------------------------|--------------|--------------|
|                          | High                           | Medium       | Low          |
| <i>1D-конфигурация</i>   |                                |              |              |
| High                     | 5,2                            | 5,2          | 5,2          |
| <b>Medium</b>            | <b>2,265</b>                   | <b>1,765</b> | <b>1,029</b> |
| Low                      | 2,265                          | 1,029        | 0,294        |
| <i>2D-конфигурация</i>   |                                |              |              |
| High                     | 1,765                          | 1,029        | 0,588        |
| <b>Medium</b>            | <b>1,235</b>                   | <b>0,662</b> | <b>0,118</b> |
| Low                      | 0,662                          | 0,471        | 0,079        |
| <i>2,5D-конфигурация</i> |                                |              |              |
| High                     | 1,765                          | 0,591        | 0,330        |
| <b>Medium</b>            | <b>0,721</b>                   | <b>0,381</b> | <b>0,078</b> |
| Low                      | 0,405                          | 0,286        | 0,058        |
| <i>3D-конфигурация</i>   |                                |              |              |
| High                     | 0,588                          | 0,153        | 0,071        |
| <b>Medium</b>            | <b>0,206</b>                   | <b>0,100</b> | <b>0,037</b> |
| Low                      | 0,147                          | 0,100        | 0,037        |

Примечание. Здесь и в табл. 3 скорости горения (распространения фронта горения) авиакеросина для расчетной аварийной ситуации выделены полужирным шрифтом.

распространении фронта горения: 1D-конфигурация — VCE в тоннелях, коридорах, системах канализации и т. п.; 2D-конфигурация — свободное распро-

Таблица 3. BST2-матрица для определения скорости горения (распространения фронта горения) в единицах Маха ( $M_f$ )

| Реакционная способность  | Класс окружающего пространства |             |             |
|--------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|
|                          | High                           | Medium      | Low         |
| <i>2D-конфигурация</i>   |                                |             |             |
| High                     | DDT                            | DDT         | 0,59        |
| <b>Medium</b>            | <b>1,60</b>                    | <b>0,66</b> | <b>0,47</b> |
| Low                      | 0,66                           | 0,47        | 0,079       |
| <i>2,5D-конфигурация</i> |                                |             |             |
| High                     | DDT                            | DDT         | 0,47        |
| <b>Medium</b>            | <b>1,00</b>                    | <b>0,55</b> | <b>0,29</b> |
| Low                      | 0,50                           | 0,35        | 0,053       |
| <i>3D-конфигурация</i>   |                                |             |             |
| High                     | DDT                            | DDT         | 0,36        |
| <b>Medium</b>            | <b>0,50</b>                    | <b>0,44</b> | <b>0,11</b> |
| Low                      | 0,34                           | 0,23        | 0,026       |

Примечание. DDT (deflagration to detonation transition) — переход дефлаграции в детонацию. При этом режиме  $M_f = M_w = 5,2$ .

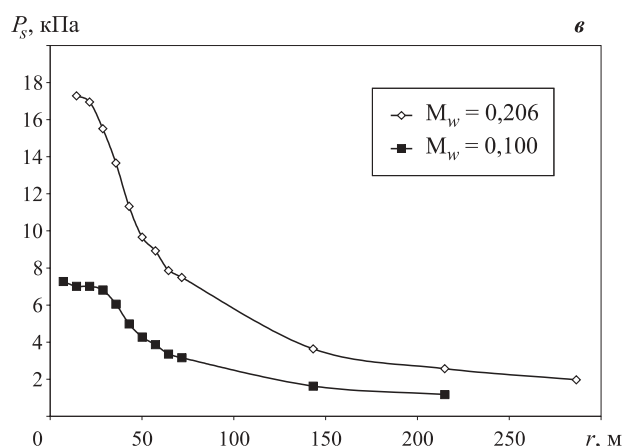
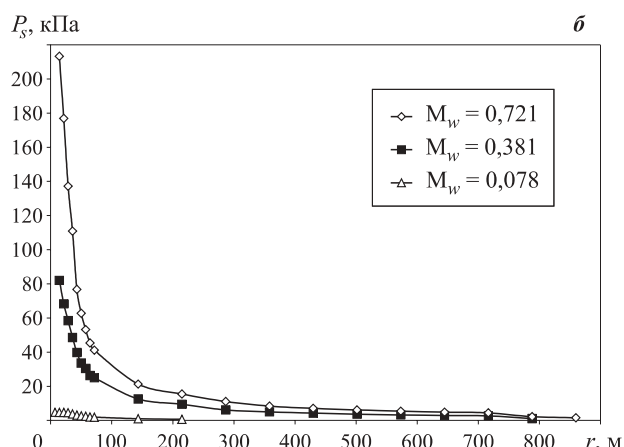
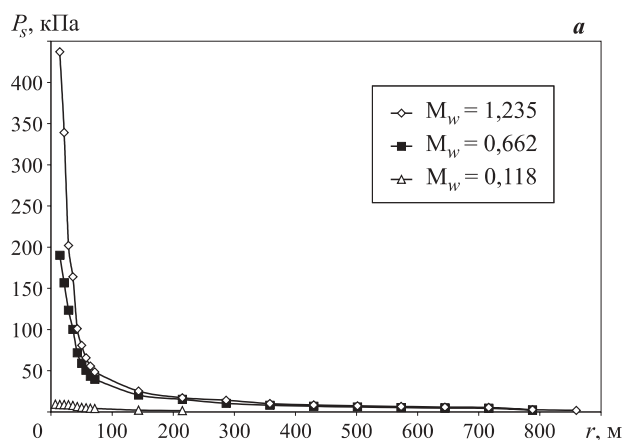
странение пламени в двух плоскостях (многоуровневые платформы и эстакады с технологическим оборудованием, многоэтажные здания без стен и т. п.); 3D-конфигурация — распространение фронта пламени в трех плоскостях без ограничений; 2,5D-конфигурация — промежуточное состояние между 2D- и 3D-конфигурациями, когда ограничивающая плоскость (см. рис. 1) не в полной мере выполняет свои функции из-за хрупкости или неустойчивости конструкции. В качестве примера такой плоскости можно привести легкобрасываемые конструкции.

Вид окружающего пространства в зависимости от количества преград делится на три класса (табл. 1) [7–11].

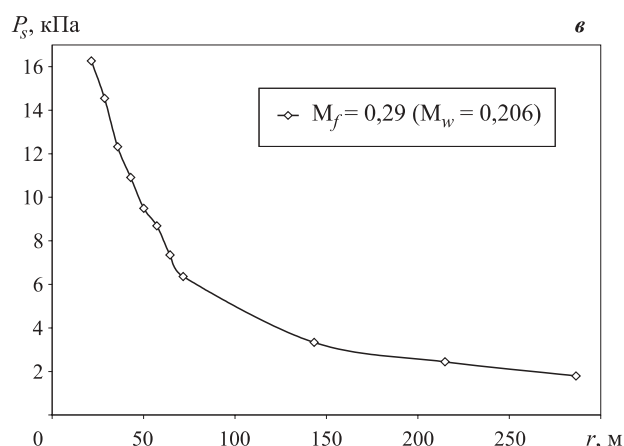
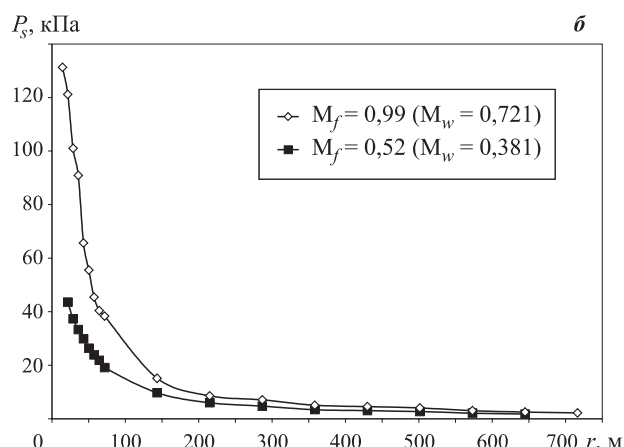
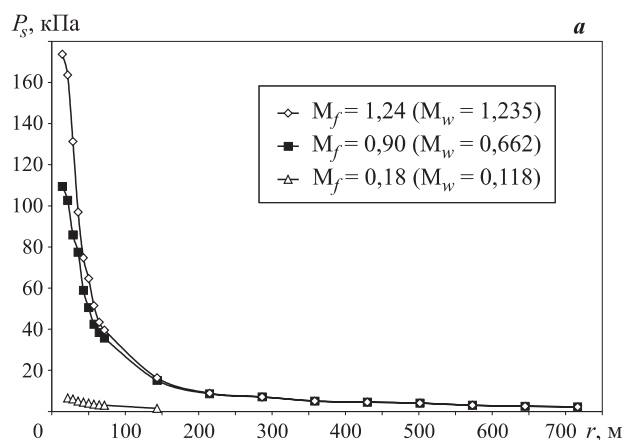
В настоящее время известны три версии BST-метода: BS (Baker–Strehlow method — метод Бейкера–Стрелов), BST1 и BST2\*. BS- и BST1-методы используют одну матрицу для нахождения скорости горения (взрыва), но разные номограммы для определения избыточного давления взрыва и импульса ударной волны. В BST2-методе применяется новая матрица и номограммы BST1-метода [7–11].

В табл. 2 и 3 приведены две матрицы для выбора скорости горения (распространения фронта горения), которые используются в BST-методах. Необходимо отметить, что в первой матрице эта скорость выражена лагранжевым числом Маха  $M_w$ , а второй — эйлеровым числом Маха  $M_f$  [7–11]. Показате-

\* Классификация взята из работы [15].



**Рис. 2.** Прогноз избыточного давления VCE по BS-методу для конфигураций 2D (а), 2,5D (б) и 3D (в)



**Рис. 3.** Прогноз избыточного давления VCE по BST1-методу для конфигураций 2D (а), 2,5D (б) и 3D (в)

ли  $M_f$  и  $M_w$  связаны между собой уравнениями (1) и (2) [9]:

- для дозвуковых скоростей горения

$$M_f = (\rho_u / \rho_b)^{1/3} M_w; \quad (1)$$

- для сверхзвуковых скоростей горения

$$M_f = M_w, \quad (2)$$

где  $\rho_u$ ,  $\rho_b$  — плотность соответственно несгоревших и сгоревших газов, кг/м<sup>3</sup>.

Условия расчетной аварийной ситуации, связанной с разлитием авиакеросина марки РТ, указаны

в ранее выполненных работах [1, 2]. Приведенные по энергии расстояния  $z'$  взяты из работы [6]:

$$z' = r / (E_{mf} Q_f / P_0)^{1/3},$$

где  $r$  — расстояние от эпицентра взрыва ГВПС, м;

$E_{mf}$  — удельная высшая теплота сгорания ГВ; для керосина РТ  $E_{mf} = 45,847 \cdot 10^6$  Дж/кг;

$Q_f$  — масса ГВ, кг;

$P_0$  — атмосферное давление;  $P_0 = 1,01 \cdot 10^5$  Па.

Согласно BST-классификации авиационное топливо РТ по реакционной способности относится к

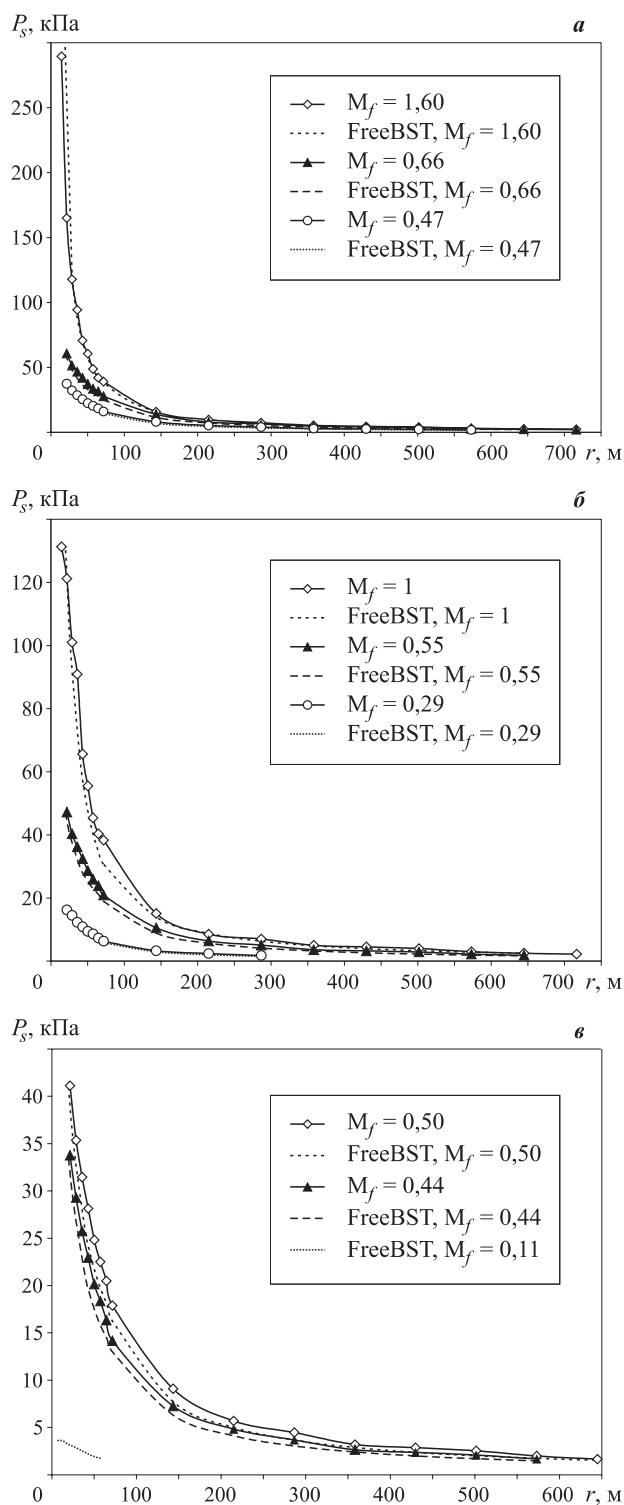


Рис. 4. Прогноз избыточного давления VCE по методам BST2 и FreeBST для конфигураций 2D (а), 2,5D (б) и 3D (в)

классу *Medium*. Конфигурация и вид окружающего пространства не заданы, поэтому расчеты выполнены для 2D-, 2,5D- и 3D-конфигураций и всех классов окружающего пространства. Результаты расчета по BS-методу представлены на рис. 2. Для 3D-конфигурации при классе окружающего простран-

ства *Low* расчетное давление взрыва ниже 2 кПа, поэтому прогноз максимального избыточного давления взрыва ГВПС (положительной фазы ударной волны)  $P_s$  (кПа) для этого случая не показан на рис. 2, в.

В BST-методах используются номограммы в зависимости от эйлерова числа Маха  $M_f$ . В связи с этим в настоящей статье перевод  $M_w$  в  $M_f$  для дозвуковых скоростей горения выполнен с помощью эмпирического уравнения (3), которое получено в результате обработки литературных данных [9]:

$$M_f = 0,1138M_w^2 + 1,2463M_w + 0,0292 \quad (3) \\ (r^2 = 0,9991).$$

Необходимо отметить, что новые BST-номограммы не позволяют прогнозировать давление взрыва ГПВС при скоростях горения (распространения фронта пламени)  $M_f$  менее 0,2 ( $M_w < 0,135$ ). Результаты вычислений избыточного давления взрыва в зависимости от расстояния  $r$  по BST1- и BST2-методам представлены на рис. 3 и 4.

Компанией "TAM Consulting, L.L.C." разработана некоммерческая программа FreeBST для расчетов параметров VCE по BST2-методу [18].

Фактически программа FreeBST является упрощенным вариантом BST2-метода, тем не менее ее прогнозы удовлетворительно согласуются с результатами расчетов по BST2-методике (см. рис. 4).

В табл. 4 приведен сравнительный прогноз возможных радиусов зон разрушений по методам BST, TNO и отечественным методикам для расчетной аварийной ситуации.

Из табл. 4 видно, что для 1–3-й зон разрушений результаты расчетов по ПБ [19], методам BS [7, 8], TNT–TNO [13] и РБ [20] удовлетворительно согласуются между собой. Вычисления по РД [21] и методам BST1, BST2 и по FreeBST [9–11, 18] дают близкие результаты для ближних зон разрушений. Прогнозы для 1–3-й зон разрушений с помощью СП [22], ГОСТ [23] и ПБ [19] сопоставимы между собой. Наблюдается пересечение прогнозов зон разрушений в результате взрыва ГВПС по РБ [20] для режима детонации и по МЕ–TNO — для 8–10-го классов взрывов. В целом можно отметить, что прогнозы по методам МЕ–TNO и BST удовлетворительно согласуются между собой.

В заключение отметим также, что в связи с вступлением нашей страны в ВТО изучение и внедрение зарубежных методик, которые широко применяются за пределами СНГ, представляет не только научный, но и практический интерес. Кроме того, BST-методы относительно просты и могут быть взяты на вооружение широким кругом специалистов.

Таблица 4. Сравнительный анализ прогнозов зон разрушения по различным методикам

| Класс зоны разрушения по ПБ [19] | $P_s$ , кПа | Радиус зоны разрушения $R$ , м, вычисленный по методикам |                                       |                                                                                                    |                    |          |                                                                                                        |                                                                                                                                                                     |                                                                                      |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  |             | ПБ [19]                                                  | РБ [20]                               | РД [21]                                                                                            | СП [22], ГОСТ [23] | TNT [13] | МЕ [13]                                                                                                | BS [7, 8]                                                                                                                                                           | BST1 [9, 10]                                                                         | BST2 [11]                                                                                                                                                         | FreeBST [18]                                                                                                                                                     |
| 1                                | $\geq 100$  | 8                                                        | 51 <sup>1</sup>                       | 37 <sup>3</sup><br>37 <sup>7</sup>                                                                 | 9                  | 27       | 50 <sup>8-10</sup><br>29 <sup>11</sup>                                                                 | 43 <sup>17</sup><br>38 <sup>18</sup><br>36 <sup>19</sup>                                                                                                            | 35 <sup>17</sup><br>29 <sup>18</sup><br>23 <sup>19</sup>                             | 34 <sup>25</sup><br>29 <sup>26</sup>                                                                                                                              | 33 <sup>25</sup><br>26 <sup>26</sup>                                                                                                                             |
| 2                                | 70          | 12                                                       | 63 <sup>1</sup>                       | 50 <sup>3</sup><br>55 <sup>7</sup>                                                                 | 11                 | 31       | 61 <sup>8-10</sup><br>52 <sup>11</sup>                                                                 | 55 <sup>17</sup><br>46 <sup>18</sup><br>44 <sup>19</sup><br>21 <sup>20</sup>                                                                                        | 46 <sup>17</sup><br>42 <sup>18</sup><br>39 <sup>19</sup>                             | 43 <sup>25</sup><br>42 <sup>26</sup>                                                                                                                              | 44 <sup>25</sup><br>37 <sup>26</sup>                                                                                                                             |
| 3                                | 28          | 21                                                       | 109 <sup>1</sup><br>95 <sup>2</sup>   | 183 <sup>3</sup><br>73 <sup>4</sup><br>94 <sup>7</sup>                                             | 18                 | 49       | 113 <sup>8-11</sup><br>90 <sup>12</sup>                                                                | 135 <sup>17</sup><br>119 <sup>18</sup><br>115 <sup>19</sup><br>62 <sup>20</sup>                                                                                     | 107 <sup>17</sup><br>104 <sup>18</sup><br>98 <sup>19</sup><br>47 <sup>20</sup>       | 106 <sup>25</sup><br>104 <sup>26</sup><br>71 <sup>27</sup><br>52 <sup>28</sup><br>43 <sup>29</sup><br>37 <sup>30</sup><br>31 <sup>31</sup>                        | 101 <sup>25</sup><br>83 <sup>26</sup><br>64 <sup>27</sup><br>43 <sup>28</sup><br>36 <sup>29</sup><br>32 <sup>30</sup><br>27 <sup>31</sup>                        |
| 4                                | 14          | 61                                                       | 173 <sup>1</sup><br>205 <sup>2</sup>  | 379 <sup>3</sup><br>161 <sup>4</sup><br>45 <sup>5</sup><br>273 <sup>7</sup>                        | 29                 | 79       | 169 <sup>8-12</sup><br>72 <sup>13</sup>                                                                | 290 <sup>17</sup><br>239 <sup>18</sup><br>232 <sup>19</sup><br>135 <sup>20</sup><br>34 <sup>21</sup>                                                                | 166 <sup>17</sup><br>156 <sup>18-19</sup><br>111 <sup>20</sup><br>30 <sup>21</sup>   | 165 <sup>25</sup><br>156 <sup>26</sup><br>143 <sup>27</sup><br>120 <sup>28</sup><br>103 <sup>29</sup><br>90 <sup>30</sup><br>73 <sup>31</sup><br>30 <sup>32</sup> | 169 <sup>25</sup><br>143 <sup>26</sup><br>130 <sup>27</sup><br>107 <sup>28</sup><br>91 <sup>29</sup><br>77 <sup>30</sup><br>67 <sup>31</sup><br>26 <sup>32</sup> |
| 5                                | $\leq 2$    | 121                                                      | 882 <sup>1</sup><br>1265 <sup>2</sup> | 2734 <sup>3</sup><br>1236 <sup>4</sup><br>425 <sup>5</sup><br>143 <sup>6</sup><br>546 <sup>7</sup> | 151                | 494      | 881 <sup>8-12</sup><br>415 <sup>13</sup><br>244 <sup>14</sup><br>125 <sup>15</sup><br>43 <sup>16</sup> | 845 <sup>17</sup><br>813 <sup>18</sup><br>788 <sup>19</sup><br>747 <sup>20</sup><br>283 <sup>21</sup><br>160 <sup>22</sup><br>126 <sup>23</sup><br>67 <sup>24</sup> | >716 <sup>17-19</sup><br>593 <sup>20</sup><br>264 <sup>21</sup><br>120 <sup>22</sup> | >716 <sup>25-27</sup><br>621 <sup>28</sup><br>572 <sup>29</sup><br>548 <sup>30</sup><br>517 <sup>31</sup><br>264 <sup>32</sup>                                    | >647 <sup>25-27</sup><br>563 <sup>28</sup><br>503 <sup>29</sup><br>469 <sup>30</sup><br>430 <sup>31</sup><br>220 <sup>32</sup><br>48 <sup>33</sup>               |

<sup>1</sup> Для режима детонации. <sup>2</sup> Для режима дефлаграции. <sup>3</sup> При скорости фронта пламени  $v = 200 \div 300$  м/с. <sup>4</sup>  $v = 150 \div 200$  м/с. <sup>5</sup>  $v = 118$  м/с. <sup>6</sup>  $v = 72$  м/с. <sup>7</sup> По методу TNT. <sup>8</sup> Для взрыва 10-го класса. <sup>9</sup> Для взрыва 9-го класса. <sup>10</sup> Для взрыва 8-го класса. <sup>11</sup> Для взрыва 7-го класса. <sup>12</sup> Для взрыва 6-го класса. <sup>13</sup> Для взрыва 5-го класса. <sup>14</sup> Для взрыва 4-го класса. <sup>15</sup> Для взрыва 3-го класса. <sup>16</sup> Для взрыва 2-го класса. <sup>17</sup>  $M_w = 1,235$  ( $M_f = 1,24$ ). <sup>18</sup>  $M_w = 0,721$  ( $M_f = 0,99$ ). <sup>19</sup>  $M_w = 0,662$  ( $M_f = 0,90$ ). <sup>20</sup>  $M_w = 0,381$  ( $M_f = 0,52$ ). <sup>21</sup>  $M_w = 0,206$  ( $M_f = 0,29$ ). <sup>22</sup>  $M_w = 0,118$  ( $M_f = 0,18$ ). <sup>23</sup>  $M_w = 0,100$  ( $M_f = 0,15$ ). <sup>24</sup>  $M_w = 0,078$  ( $M_f = 0,13$ ). <sup>25</sup>  $M_f = 1,60$ . <sup>26</sup>  $M_f = 1$ . <sup>27</sup>  $M_f = 0,66$ . <sup>28</sup>  $M_f = 0,55$ . <sup>29</sup>  $M_f = 0,50$ . <sup>30</sup>  $M_f = 0,47$ . <sup>31</sup>  $M_f = 0,44$ . <sup>32</sup>  $M_f = 0,29$ . <sup>33</sup>  $M_f = 0,11$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. I. РБ Г-05-039-96 // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 37–47.
2. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. II. РД 03-409-01 // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 1. — С. 21–27.
3. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. III. СП 12.13130.2009 // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 33–38.
4. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. IV. ГОСТ Р 12.3.047-98 // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 6. — С. 34–37.
5. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. V. ПБ 09-540-03 // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 32–35.

6. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VI. ТНО-методы (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 7. — С. 22–29.
7. Baker Q. A., Tang M. J., Scheier E. A., Silva G. J. Vapor cloud explosion analysis // Process Safety Progress. — 1996. — Vol. 15, No. 2. — P. 106–109.
8. Baker Q. A., Doolittle C. M., Fitzgerald G. A., Tang M. J. Recent developments in the Baker–Strehlow VCE analysis methodology // Process Safety Progress. — 1998. — Vol. 17, No. 4. — P. 297–301.
9. Tang M. J., Baker Q. A. A new set of blast curves from vapor cloud explosion // Process Safety Progress. — 1999. — Vol. 18, No. 3. — P. 235–240.
10. Tang M. J., Baker Q. A. Comparison of blast curves from vapor cloud explosions // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2000. — Vol. 13, No. 3–5. — P. 433–438.
11. Pierorazio A. J., Thomas J. K., Baker Q. A., Ketchum D. E. An update to the Baker–Strehlow–Tang vapor cloud explosion prediction methodology flame speed table // Process Safety Progress. — 2005. — Vol. 24, No. 1. — P. 59–65.
12. Van den Berg A. C. The multi-energy method: a framework for vapor cloud explosion blast prediction // Journal of Hazard Materials. — 1985. — Vol. 12, No. 1. — P. 1–10.
13. CPR 14E. Methods for the calculation of physical effects. “Yellow book” / By ed. C. J. H. van den Bosch, R. A. P. M. Weterings. — Hague : Gevaarlijke Stoffen, 2005. — 870 p.
14. Crowl D. A. CCPS. Understanding explosion. — N. Y. : AIChE, 2003. — 214 p.
15. Assael M. J., Kakosimos K. E. Fires, explosions and toxic gas dispersions. Effects calculation and risk analysis. — Boca Raton : CRC Press, 2010. — 329 p.
16. Melani L., Sochet I., Rocourt X., Jallais S. Review of methods to estimate the overpressure and impulse resulting from hydrogen explosion in a confined/obstructed volume // Proc. International Conference on Hydrogen Safety (ICHs). — Ajaccio (Corsica, France), 2009. URL : <http://vgr.ing.unipi.it/ichs/images/stories/papers/254.pdf> (дата обращения: 29.06.2013 г.).
17. Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П., Кулеш Дж., Стрелов Р. Взрывные явления. Оценка и последствия. — М. : Мир, 1986. — Кн. 1. — 319 с.
18. Сайт компании TAM Consulting, L.L.C. URL : <http://www.tamcon.com/technicalsoftware.html> (дата обращения: 11.06.2013 г.).
19. ПБ 09-540–03. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств : постановление Госгортехнадзора РФ от 05.05.2003 г. № 29; введ. 05.05.2003 г. // Российская газета. — 2003. — № 120/1.
20. РБ Г-5-05-039–96. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического воздействия. — М. : НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000. — 40 с.
21. РД 03-409–01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей : постановление Госгортехнадзора РФ от 26.06.2001 г. № 25. URL : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=334178> (дата обращения: 10.01.2013 г.).
22. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (в ред. изм. № 1, утв. приказом МЧС России от 09.12.2010 г. № 643). Доступ из справ.-правовой системы “КонсультантПлюс”. URL : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=109932> (дата обращения: 10.01.2013 г.).
23. ГОСТ Р 12.3.047–98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 01.01.2000 г. — М. : Изд-во стандартов, 1998. Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — № 2 (48).

Материал поступил в редакцию 8 июля 2013 г.

English

## ANALYSIS METHODS OF EXPLOSION FIRE HAZARD OF MIXTURES OF FUEL AND AIR ON AN EXAMPLE FOR JET FUEL RT. VII. BST-METHODS

**ALEXEEV S. G.**, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of WASCS, Senior Researcher of Science and Engineering Centre “Reliability and Safety of Large Systems” of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation), Senior Researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: Alexshome@mail.ru)

**AVDEEV A. S.**, Leader of Sector of Forensic Expert Establishment of Federal Fire Service "Testing Fire Laboratory for the Perm Territory" (Bolshevistskaya St., 53a, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail address: asipl@ugps.perm.ru)

**BARBIN N. M.**, Doctor of Technical Sciences, Candidate of Chemistry Sciences, Head of Chemistry Department of Urals State Agricultural Academy (Karla Libknekhta St., 42, Yekaterinburg, 620075, Russian Federation), Senior Researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: NMBarbin@mail.ru)

**GURYEV E. S.**, Candidate of Technical Sciences, Docent, Deputy Director of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation; e-mail address: sec@wekt.ru)

## ABSTRACT

Study of an emergency situation related with flood of the jet fuel RT is continued in this work by the BS, BST1, BST2 и FreeBST methods. Original positions of BST-methods are viewed. Calculation of overpressure VCE is executed for a settlement emergency situation with 2D, 2,5D both 3D-configurations and various views of environmental space. New equation  $M_f = 0,1138M_w^2 + 1,2463M_w + 0,0292$  is offered for transfer of Lagrangian Mach number ( $M_w$ ) in Eulerian Mach number ( $M_f$ ). Calculations of 1–3 zones of destructions on PB 09-540–03, BS TNT–TNO and RB G-5-05-039–96 methods are well comparable among themselves. Evaluations on RD 03-409–01, BST1, BST2 and FreeBST methods yield the relatives results for short-range zones of destructions. Forecasts of 1–3 zones of destructions by SP 12.13130.2009, GOST P 12.3.047–98 and PB 09-540–03 are comparable among themselves. Cross of predictions of zones of destructions is observed in case of the detonation regime of RB G-5-05-039–96 and 8–10 classes of explosions of ME–TNO. Forecasts ME–TNO and BST methods will well be compounded among themselves.

**Keywords:** explosion; kerosene; fuel-air mixture; overpressure.

## REFERENCES

1. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. I. RB G-05-039–96 [Analysis methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jetfuel RT. I. RB G-05-039–96]. *Pozharovryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 37–47. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2010> (Accessed 10 January 2013).
2. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. II. RD 03-409–01 [Analysis methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jetfuel RT. II. RD 03-409–01]. *Pozharovryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 1, pp. 21–27. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 10 January 2013).
3. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. III. SP 12.13130.2009 [Analysis methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jetfuel RT. III. SP 12.13130.2009]. *Pozharovryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 33–38. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1008238> (Accessed 10 January 2013).
4. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. IV. GOST R 12.3.047–98 [Analysis methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jetfuel RT. IV. GOST R 12.3.047–98]. *Pozharovryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 6, pp. 34–37. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1025513> (Accessed 10 January 2013).
5. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. V. PB 09-540–03 [Analysis methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jetfuel RT. V. PB 09-540–03]. *Pozharovryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 32–35. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1031479> (Accessed 10 January 2013).

6. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev Ye. S. Metody otsenki vzryvopozharoопасности toplivovozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. VI. TNO-metody (chast 1) [Methods of explosion fire hazard of fuel and air mixtures on an example for jetfuel RT. VI. TNO methods (part 1)]. *Pozharovryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 7, pp. 22–29.
7. Baker Q. A., Tang M. J., Scheier E. A., Silva G. J. Vapor cloud explosion analysis. *Process Safety Progress*, 1996, vol. 15, no. 2, pp. 106–109.
8. Baker Q. A., Doolittle C. M., Fitzgerald G. A., Tang M. J. Recent developments in the Baker–Strehlow VCE analysis methodology. *Process Safety Progress*, 1998, vol. 17, no. 4, pp. 297–301.
9. Tang M. J., Baker Q. A. A new set of blast curves from vapor cloud explosion. *Process Safety Progress*, 1999, vol. 18, no. 3, pp. 235–240.
10. Tang M. J., Baker Q. A. Comparison of blast curves from vapor cloud explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2000, vol. 13, no. 3–5, pp. 433–438.
11. Pierorazio A. J., Thomas J. K., Baker Q. A., Ketchum D. E. An update to the Baker–Strehlow–Tang vapor cloud explosion prediction methodology flame speed table. *Process Safety Progress*, 2005, vol. 24, no. 1, pp. 59–65.
12. Van den Berg A. C. The multi-energy method: a framework for vapor cloud explosion blast prediction. *Journal of Hazard Materials*, 1985, vol. 12, no. 1, pp. 1–10.
13. Van den Bosch C. J. H., Weterings R. A. P. M. (eds). *CPR 14E. Methods for the calculation of physical effects. “Yellow book”*. Hague, Gevaarlijke Stoffen, 2005. 870 p.
14. Crowl D. A. *CCPS. Understanding explosion*. N. Y., AIChE, 2003. 214 p.
15. Assael M. J., Kakosimos K. E. *Fires, explosions and toxic gas dispersions. Effects calculation and risk analysis*. Boca Raton, CRC Press, 2010. 329 p.
16. Melani L., Sochet I., Rocourt X., Jallais S. Review of methods to estimate the overpressure and impulse resulting from hydrogen explosion in a confined/obstructed volume. *Proc. International Conference on Hydrogen Safety (ICHS)*. Ajaccio (Corsica, France), 2009. Available at: <http://vgr.ing.unipi.it/ichs/im-ages/stories/papers/254.pdf> (Accessed 29 June 2013).
17. Baker W. E., Cox P. A., Westine P. S., Kulesz J. J., Strehlow R. A. *Explosion hazards and evaluation*. Elsevier, Amsterdam, 1983. 807 p. (Russ. Ed.: Baker W. E., Cox P. A., Westine P. S., Kulesz J. J., Strehlow R. A. *Vzryvnyye yavleniya. Otsenka i posledstviya*. Moscow, Mir Publ., 1986. Book 1. 384 p.)
18. *Sayt kompanii TAM Consulting, L.L.C.* [Site Company TAM Consulting, L.L.C.] Available at: <http://www.tamcon.com/technicalsoftware.html> (Accessed 11 June 2013).
19. *Rules of Safety 09-540-03. Common explosion safety rules for fire, explosive, hazard, chemical, petrochemical and oil refining factories*. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=42332> (Accessed 11 June 2013) (in Russian).
20. *Guides to safety G-05-039-96. Manual for analysis of accident explosion hazards and determination of their mechanical action*. Moscow, NTTs YaRB Gosatomnadzor Rossii Publ., 2000. 40 p. (in Russian).
21. *Management Document 03-409-01. The prediction method for analysis of VCE damages*. Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=334178> (Accessed 10 June 2013) (in Russian).
22. *Set of rules 12.13130.2009. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Available at: <http://www.consultant.ru/search/?q=%D1%CF+12.13130.2009> (Accessed 10 June 2013) (in Russian).
23. *National Standard of the Russian Federation 12.3.047-98. Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control*. Available at: NSIS PB, 2012, no. 2(48) (Accessed 10 June 2013) (in Russian).

**Г. М. ВОЛКОВ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры "Материаловедение"  
Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ)  
(Россия, 107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, 38; e-mail: recom@list.ru)

УДК 621.03+67.03

## ПОТЕНЦИАЛ ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

Представлено связующее на основе неорганических полимеров для производства в пожаробезопасных условиях негорючих композиционных материалов. Рассмотрены ремонтные композиционные материалы для восстановления работоспособности машиностроительной продукции во взрывоопасных помещениях.

**Ключевые слова:** неорганические полимеры; композиционные материалы; жаростойкость; связующее; холодная молекулярная сварка; расходные материалы; изношенная техника.

### Введение

Пожаровзрывоопасность материалов и технологий, применяемых в производственной деятельности и среде обитания человека, чревата как большим материальным ущербом, так и возможными жертвами в результате пожаров и взрывов. Чрезвычайная актуальность данной тематики стимулирует рост внимания исследователей к области повышения жаростойкости существующих материалов и создания безопасных условий для реализации потенциально взрывоопасных технологий. Между тем было бы более продуктивно сосредоточить усилия на разработке материалов и технологий, исключающих их пожаровзрывоопасность. Ниже представлены практические результаты некоторых работ в данном направлении.

### Жаростойкость

Несущие элементы в конструкциях зданий и сооружений изготавливаются преимущественно из углеродистых и низколегированных сталей. В условиях пожара под прямым воздействием огня они быстро нагреваются и теряют свою несущую способность, после чего здание рушится, что многократно увеличивает ущерб, вызванный пожаром.

В отделке интерьера зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения широко используются неметаллические материалы на основе органических полимеров. Обратим внимание на то, что при пожаре основной причиной гибели людей является воздействие не столько высоких температур, сколько ядовитых продуктов пиролиза органических полимеров.

Органические полимеры представляют собой производные простейших углеводородов, вследствие чего обязательными компонентами органических полимеров являются углерод и водород. В процессе

термического воздействия они вступают в химическое взаимодействие с другими компонентами полимера, образуя летучие вещества. Выделяемые при нагреве органического полимера летучие вещества, большинство из которых токсичны, загрязняют окружающую среду. Кроме того, деструкция полимера приводит к снижению его прочности. Температурный предел работоспособности большинства материалов на основе органических полимеров, используемых в отраслях массового машиностроения, не превышает 200 °С.

Модифицирование органических полимеров атомами титана, алюминия, кремния и других металлов позволяет существенно повысить их жаростойкость. На основе элементоорганических полимеров созданы клеи, стойкие к термоокислительной деструкции в условиях длительного воздействия температур до 1000 °С [1]. Дальнейшему повышению жаростойкости элементоорганических полимеров препятствует наличие в их структуре органических радикалов, присоединенных к основному молекулярному звену. Для радикального повышения жаростойкости целесообразно обратиться к неорганическим полимерам, поскольку они не имеют в своем составе органических радикалов.

Неорганические полимеры являются самыми распространенными соединениями в природе, и прежде всего это относится к полимерным соединениям кремния в виде оксидов и силикатов. Содержание кремния в доступной исследованию части земной оболочки достигает 26 %. Полимерные оксиды кремния, алюминия и магния составляют около 80 % земной коры. Они служат исходным сырьем для производства огнеупорной продукции. Однако их полимеризация для превращения в целевой продукт происходит только в результате длительной высокотемпературной обработки, которая реализуется в

специальных печах обжига. Такая технология при большой длительности процесса и хрупкости конечного продукта не может претендовать на приоритет в производстве машиностроительных материалов конструкционного назначения.

В данной работе показана принципиальная возможность разработки простой технологии многократного повышения жаростойкости материалов конструкционного назначения. Основой технологии является мономер, который позволяет получать полимеры принципиально нового класса со следующими свойствами:

- химическая инертность в окислительных средах при нормальной и повышенных температурах (рабочая температура до 2000 °С);
- низкая плотность (в 1,5 раза меньше, чем у алюминия и его сплавов);
- для затвердевания не требуется последующая термическая обработка;
- нетоксичность компонентов, экологически безопасная технология производства.

На основе данного мономера создано жаростойкое связующее Хайпол (далее — ХП). Оно выпускается в двух упаковках, содержимое которых смешивается. Смесь компонентов (порошок + нанодобавки + жидкость) затвердевает в результате химической реакции при цеховой температуре.

Материалы с использованием ХП производят по традиционной для композиционных материалов технологии на стандартном оборудовании. Прессованием получают негорючие панели, блоки различной конфигурации и трубы. Трубы могут быть изготовлены также путем намотки волокнистого наполнителя. Литьевые составы на основе ХП позволяют выпускать более широкий ассортимент продукции на их основе, включая крупногабаритные конструкции.

В качестве примера простейшего композиционного материала отметим негорючий стеклопластик, который изготавливается по стандартной технологической схеме производства традиционного стеклопластика, дополненного узлом введения ХП. Замена негорючим стеклопластиком используемых в настоящее время стеклопластиков со связующим на основе органических полимеров обеспечивает полную экологическую безопасность в процессе эксплуатации конструкций из стеклопластика, а при пожаре — исключает гибель людей из-за воздействия ядовитых продуктов пиролиза органического связующего.

Наиболее массового применения негорючего стеклопластика следует ожидать в интерьере зданий гражданского и промышленного назначения, а также воздушных, наземных и подземных, водных и подводных транспортных устройств.

Используя ХП в качестве связующего для неорганического волокнистого наполнителя, можно получить жаростойкий машиностроительный материал нового поколения — композиционный материал системы *неорганика – неорганика*. Он рекомендуется в качестве высокотемпературного конструкционного материала для создания тепловых машин с техническими характеристиками выше мирового уровня.

В области разработки нового класса жаростойких композиционных материалов системы *неорганика – неорганика* Россия обладает несомненным приоритетом. Научные основы и технологические принципы их создания еще во времена СССР были реализованы в опытно-промышленном производстве жаростойких композитов с использованием ХП в качестве связующего.

За рубежом такое производство отсутствует. Композиционный материал с теплозащитными свойствами, отдаленно напоминающими свойства композитов на ХП, в 90-х годах прошлого века был случайно синтезирован в Англии профессиональным парикмахером Уордом. Композит был широко разрекламирован, но в настоящее время технология его производства считается утерянной, и Министерство обороны Великобритании тщетно пытается разгадать этот секрет [2].

Сложившейся ситуацией целесообразно воспользоваться для создания тепловых машин с техническими характеристиками выше мирового уровня. Как показывает наша практика, существует большой спрос на жаростойкие композиты на уровне предприятий, однако материально-технические возможности последних не позволяют им финансировать развитие производственных мощностей для удовлетворения спроса. Вопросы развития производства жаростойких композитов находятся в компетенции государственных структур, которые не проявляют к ним своей заинтересованности.

Отсутствие финансово обеспеченного спроса на жаростойкие композиты может привести к утере приоритета в данной области научно-технических знаний и в конечном счете стимулировать приобретение тепловых машин нового поколения у зарубежного производителя. Пагубность такой стратегии была рассмотрена нами ранее [3].

Использование ХП для связывания неорганического порошкового наполнителя позволяет исключить из технологического цикла производства керамики операцию обжига полуфабриката, которая занимает много времени и требует больших затрат энергии. Это дает возможность снизить производственные расходы в 2 раза.

Предлагаемая технология позволяет восстановить разрушенную огнеупорную деталь термиче-

ского оборудования путем связывания Хайполом измельченных до порошкообразного состояния остатков детали. Ремонт выполняется в цеховых условиях по месту размещения аварийного оборудования.

Немаловажным достоинством предлагаемой технологии является его экологическая безопасность. Замена фенолформальдегидного связующего в производстве древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит на ХП позволит исключить загрязнение окружающей среды токсичными выделениями фенола и формальдегида в процессе производства и эксплуатации изделий из них, например в интерьере жилых помещений и мебели.

Предлагаемая технология нечувствительна к качеству сырья, что делает возможным утилизировать почти все промышленные отходы независимо от их химического состава, влажности, консистенции и пр. Это позволит перерабатывать промышленные отходы в огнеупорные материалы различного назначения и расширить ассортимент строительных материалов (стеновые крупногабаритные изделия, высокопрочный кирпич, кислотоупорные покрытия, теплоизоляционные материалы, огнезащитные краски, ультралегкий наполнитель, легкие бетоны, высокотемпературные клеи, ремонтные составы, негорючие пластики и т. п.). Использование ХП в технологии изготовления строительных материалов позволит исключить загрязнение окружающей среды как в процессе производства, так и при эксплуатации зданий и сооружений из этих материалов.

### Холодная молекулярная сварка

Восстановление изношенных или поврежденных металлических деталей техники традиционно выполняется преимущественно методами термической сварки и наплавки, которые повышают взрывоопасность ремонтных работ во взрывоопасных помещениях и потенциальную пожароопасность во всех других случаях.

Предлагаем обратить внимание на достаточно простой способ обеспечить работоспособность имеющейся в распоряжении потребителей изношенной техники, полностью исключая пожаровзрывоопасность технологии.

Нагрев при традиционных способах ремонта необходим для того, чтобы расплавить металл. В расплавленном металле атомы сближаются на такое расстояние, при котором проявляются межатомные силы взаимодействия, обеспечивая прочность соединения наплавляемого металла с металлом ремонтируемой детали. При использовании принципов не атомарного, а молекулярного контакта, когда функциональные группы высокомолекулярного со-

единения взаимодействуют с активными точками металла ремонтируемой детали, отпадает необходимость в плавлении металла. Сварка в этом случае не требует нагрева. Поэтому такая технология, получившая название холодной молекулярной сварки, исключает пожаровзрывоопасность ремонтных работ.

Научные основы процесса и его технические преимущества были рассмотрены нами ранее [4]. Для ремонтно-восстановительных работ предлагаемым методом доступен большой арсенал отечественных ремонтных композиционных материалов (сокращенно Реком), которые по техническим и технологическим характеристикам не уступают более дорогим зарубежным аналогам [5].

С целью определения оптимальной номенклатуры расходных материалов для холодной молекулярной сварки нами был проведен маркетинг производственного спроса промышленных предприятий на отечественные марки Реком. Маркетинг проводился с 1993 г. по настоящее время и охватил 25 тыс. функционирующих предприятий всех регионов и отраслей производств, что, по нашему мнению, является достаточно представительным объемом выборки генеральной совокупности и позволяет надеяться на объективность полученных результатов. Всем предприятиям была предоставлена информация о предлагаемой технологии и технико-экономических преимуществах отечественных марок Реком для ее осуществления.

Первичный отклик предприятий составил 4,6 % от объема выборки. С этими предприятиями проводилась активная работа по выявлению сферы эффективного использования предлагаемой технологии.

Научно-техническая продукция, изготовленная по новой технологии, была поставлена на 39,4 % предприятий от откликнувшихся на первичную рассылку информационных сообщений. Поставка сопровождалась консультациями по организации ремонтно-восстановительных работ в производственных условиях данного предприятия и регламенту работ по ремонту конкретной детали.

По виду ремонтных работ поставленная продукция распределилась следующим образом. Поставка базового расходного материала универсального назначения марки Реком-Б (табл. 1) составила 85,6 % от общего объема поставок. Рекомендуемые виды ремонтных работ сознательно указаны применительно к автомобильной технике, поскольку ни одно предприятие или учреждение не обходится без услуг автотранспорта, а многие сотрудники этих организаций имеют личные автомобили. Хотя надо отметить, что с не меньшим успехом материалы марки Реком-Б используются для ремонта широкой номенклатуры машиностроительной продукции разнообразного

**Таблица 1.** Основные расходные материалы холодной молекулярной сварки

| Характеристика                | Реком-Б                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Реком-И                                                     |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Предел прочности, МПа:        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                             |
| при сдвиге по стыку со сталью | 25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 20                                                          |
| при сжатии                    | 135                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 100                                                         |
| Температура эксплуатации, °С: |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                             |
| рабочая                       | 150                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 150                                                         |
| кратковременная               | 200                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 200                                                         |
| Коэффициент трения по стали   | 0,06                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0,035                                                       |
| Время, ч:                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                             |
| жизни смеси                   | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1                                                           |
| полного набора прочности      | 24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 24                                                          |
| Обрабатывающий инструмент     | Углеродистая сталь                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Твердый сплав                                               |
| Назначение                    | Корпусные детали, радиатор, бензобак, кузов, косметический ремонт                                                                                                                                                                                                                                                     | Поверхности трения, подвижные посадки, разъемные соединения |
| Адгезия                       | Обладают хорошим сцеплением с сухой обезжиренной поверхностью всех черных (углеродистые и легированные стали и чугуны) и цветных металлов и сплавов (силумины, дюралюминий, латуни, бронзы и др.), большинства полимеров, а также практически всех других неметаллических материалов (стекло, керамика, дерево и др.) |                                                             |

назначения. Следующим по рангу распределения идет расходный материал марки Реком-И (износостойкий) — 5,6 %.

Перечисленные марки рекомендованы для обеспечения работоспособности автотранспорта, а также основного производственного оборудования и инфраструктуры промышленных предприятий любого профиля: для этих целей востребовано 91,2 % предложенной продукции. Оставшаяся часть поставок представлена материалами марки Реком специального назначения (табл. 2), в которых усилена одна из эксплуатационных или технологических характеристик Реком универсального назначения. Они используются для решения специфических ремонтных задач (химическая стойкость, электроизолирующие свойства, абразивостойкость, адгезия к мокрой, ржавой или замасленной поверхности и др.).

**Таблица 2.** Расходные материалы специального назначения

| Маркировка | Назначение                                                                                                                                                                                                                        |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Реком-А    | Для восстановления деталей, работающих в абразивной среде. Обрабатывается алмазным или боразоновым инструментом                                                                                                                   |
| Реком-Б+   | Для полевых условий (любые плюсовые температуры, туман и дождь)                                                                                                                                                                   |
| Реком-В    | Схватывается с мокрой поверхностью. Для ремонта инженерного оборудования систем тепло- и водоснабжения                                                                                                                            |
| Реком-Д    | Обладает демпфирующими свойствами. Для восстановления деталей гидромашин, изнашиваемых в условиях кавитационной эрозии и ударного воздействия частиц суспензии                                                                    |
| Реком-ИМ   | Имеет повышенную твердость и низкий коэффициент трения. Обрабатывается твердосплавным инструментом. Для восстановления изнашиваемых контртелом поверхностей трения, в том числе для ремонта штоков гидроцилиндров без их разборки |
| Реком-ПМ   | Схватывается с поверхностью полимеров. Для ремонта стеклопластиковых и полиэтиленовых деталей, полиэтиленовой изоляции металлических трубопроводов                                                                                |
| Реком-Р    | Схватывается с сухой ржавой поверхностью. Для ремонта труб и резервуаров, подвергшихся коррозии. Возможна упрочняющая пропитка любых пористых материалов для придания им герметичности и коррозионной стойкости                   |
| Реком-У    | Допускает деформирование металлической подложки без нарушения адгезионной прочности покрытия. Для ремонта крупногабаритных металлических конструкций, испытывающих в процессе эксплуатации деформации                             |
| Реком-Х    | Обладает повышенной стойкостью к химически активным средам. Для ремонта деталей машин и оборудования на химических производствах                                                                                                  |
| Реком-Э    | Относительное удлинение 400 %. Бензо-, кислото- и водостоек. Для обрезинивания металлических поверхностей и герметизации резервуаров                                                                                              |
| Реком-ЭИ   | Обладает электроизолирующими свойствами. Для ремонта токонесущих деталей машин и оборудования                                                                                                                                     |

Новейшей разработкой является расходный материал нового поколения — Реком РА-У, который не только заменяет большинство Реком специального назначения, но и может быть использован в качестве быстроотверждаемого ремкомплекта аварийного назначения, поскольку время отверждения смеси его компонентов не превышает 15 мин.

Материалы марки Реком РА-У обладают следующими достоинствами:

- позволяют выполнять аварийный ремонт в полевых условиях при любых плюсовых температурах, в туман, дождь, заменяя Реком-Б+;
- схватываются с мокрой поверхностью, заменяя Реком-В. Рекомендуются для аварийного ремонта инженерного оборудования систем тепло- и водоснабжения;
- схватываются с ржавой поверхностью металлов и сплавов, заменяя Реком-Р. Рекомендуются для аварийного ремонта труб и резервуаров, подвергшихся коррозии;
- обладают повышенной стойкостью к химически активным средам, заменяя Реком-Х. Рекомендуются для аварийного ремонта деталей машин и оборудования химических производств;
- являются электроизоляторами, заменяя Реком-ЭИ. Рекомендуются для аварийного ремонта токонесущих деталей машин и оборудования;
- схватываются с поверхностью, загрязненной нефтью, маслом и другими нефтепродуктами. Рекомендуются для аварийного ремонта емкостей и трубопроводов нефти и нефтепродуктов.

Технологически Реком скомпонованы в двух упаковках, содержимое которых смешивают в определенном соотношении. После нанесения на ремонтируемую поверхность пастообразная смесь затвердевает. Процесс твердения не требует термического и механического воздействия. Свойства затвердевшей смеси зависят от свойств компонентов, используемых для создания конкретной марки Реком.

Реком состоят из полимерной матрицы, в которой равномерно распределены дисперсные частицы наполнителя. Полимерная матрица обеспечивает адгезию Реком к ремонтируемой поверхности, т. е. является клеевой основой композиционного материала. Все марки Реком обладают хорошей адгезией практически ко всем металлическим и неметаллическим машиностроительным материалам конструкционного и функционального назначения. Введение наполнителя обеспечивает синергический эффект и придает Реком новые свойства, предопределяющие их технологические преимущества как перед термическими, так и клеевыми способами соединения деталей в ремонтно-восстановительных работах:

- отсутствие нагрева исключает вероятность возникновения термических напряжений и деформирования восстановленной детали. При термических способах ремонта трудно избежать данного дефекта, устранение которого сопряжено с дополнительными материальными и трудовыми затратами;

- технология не нарушает заданный термической обработкой уровень физико-механических свойств материала восстанавливаемой детали. Это исключает необходимость дополнительной термической обработки восстановленных деталей, обязательной после термических способов ремонта;
- оптимальная по физико-механическим свойствам толщина слоя Реком между сопрягаемыми деталями составляет 0,5–1,0 мм в отличие от необходимого минимального расстояния в случае клеевого соединения. Это позволяет соединять детали без их предварительной геометрической подгонки, что особенно сложно для деталей с криволинейными поверхностями сопряжения;
- Реком обладают комплексом объемных свойств, чего в принципе не могут иметь клеи на уровне силуминов;
- в отличие от клеев Реком позволяют заполнять объемные дефекты деталей машин и оборудования глубиной 10 мм и более;
- из Реком может быть изготовлена цельковая деталь методами литья, пластического деформирования на определенной стадии затвердевания композита или путем механической обработки уже затвердевшего композита;
- технология Реком не использует какое-либо специальное оборудование. Единственный инструмент непосредственного исполнителя работ — шпатель для формирования конфигурации сварного шва;
- технология не предъявляет практически никаких требований к квалификации непосредственного исполнителя работ.

Немаловажным условием выбора оптимальной технологии ремонтно-восстановительных работ в современных условиях является экологическая безопасность технологических процессов, поскольку обеспечение работоспособности изношенной инфраструктуры технической деятельности носит вынужденно массовый характер и охватывает практически всю территорию страны.

Термические методы характеризуются интенсивным тепловым излучением в инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра, которые воздействуют преимущественно на исполнителя данной технологии. Кроме того, термические процессы протекают с выделением вредных для здоровья химических элементов в виде пыли, паров и аэрозолей, которые не только воздействуют на непосредственного исполнителя ремонтных работ, но и загрязняют окружающую среду.

Предлагаемая технология исключает загрязнение окружающей среды, чем выгодно отличается от термических способов ремонтно-восстановитель-

ных работ. Экологическая безопасность обеспечена исключением из состава Реком органических растворителей и отсутствием выделений побочных продуктов молекулярного взаимодействия компонентов в процессе затвердевания сварного шва. Все компоненты Реком без остатка участвуют в формировании прочного сварного шва.

Экономические преимущества технологии Реком также достойны внимания. Стоимость такого ремонта обходится в 5 раз ниже аналогичных работ, выполненных с использованием методов традиционной термической сварки. Затраты на приобретение расходных материалов и освоение несложной технологии Реком окупаются после первого ремонта.

## Выводы

1. Неорганическое связующее Хайпол позволяет производить при цеховой температуре негорючие композиционные материалы, работоспособные при температурах до 2000 °С.

2. Работоспособность изношенного оборудования и инфраструктуры предприятий любого профиля может быть обеспечена тремя марками расходных материалов холодной молекулярной сварки отечественного производства в следующем соотношении: Реком-Б — 85 %, Реком-И — 5 % и Реком РА-У — 10 %, которые исключают пожаровзрывоопасность ремонтно-восстановительных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрова А. П. Клеящие материалы : справочник. — М. : “К и Р”, 2002. — 196 с.
2. Фишер Р. Загадки мистера Уорда // *New Scientist*. — 2012. — № 7–8. — С. 22–26.
3. Волков Г. М. Материаловедческие предпосылки создания машиностроительной продукции нового поколения // *Известия МГТУ МАМИ*. — 2012. — Т. 2, № 2. — С. 41–51.
4. Волков Г. М. Особенности холодной молекулярной сварки как ключевой технологии реновации действующих машин и оборудования // *Ремонт, восстановление, модернизация*. — 2002. — № 8. — С. 37–45.
5. Волков Г. М. Расходные материалы нового поколения для холодной молекулярной сварки // *Конверсия в машиностроении*. — 1999. — № 1. — С. 49–52.

*Материал поступил в редакцию 30 сентября 2013 г.*

English

## FIRE AND EXPLOSION SAFETY POTENTIAL OF ENGINEERING MATERIALS AND TECHNOLOGIES

**VOLKOV G. M.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Materials Science Department of Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI) (Bolshaya Semenovskaya St., 38, Moscow, 107023, Russian Federation; e-mail address: recom@list.ru)

## ABSTRACT

Binder based on inorganic polymers for production composite materials by standard techniques is presented. Its components are non-toxic, technology is environmentally safe. The binder is cured at a temperature room, after curing able working in oxidizing environments up to 2000 °C with no emission of toxic volatile substances. Plastics on it based eliminates fire victims from the effects of toxic pyrolysis products of traditional organoplastics, recommended for interior air, land and underground, water and underwater transport devices. A composite material based on system *Inorganic – Inorganic* recommended as a high-temperature structural material for creating thermal machines with specifications above world level. Chipboard materials on its basis exclude the systematic poisoning of the population toxic secretions of phenol and formaldehyde in the processes of production and functioning an interior living spaces and furniture.

Environmentally safe composites that allow restoring the machinery products in potentially explosive areas are examined. As a result of many years of cooperation with the industry it's found that recovery of worn-out equipment and infrastructure businesses of any profile can be achieved by three brands composites of domestic production in the following ratio: Recom-B (basic) of 85 %, Recom-WR (wear-resistant) 5 % and Recom for special purposes 10 %, in which reinforced one

of the technical or technological characteristics of basic composition. Most composites of special purpose are replaced by composite of new generation Recom-EU (universal for emergency purposes).

**Keywords:** inorganic polymers; composite materials; heat resistance; binder; cold molecular welding; expendable materials; worn-out machinery.

## REFERENCES

1. Petrova A. P. *Kleyashchiye materialy. Spravochnik* [Bonding Materials. Handbook]. Moscow, K&R Publ., 2002. 196 p.
2. Fisher R. Zagadki mistera Uorda [Riddles of Mister Ward]. *New Scientist*, 2012, no. 7–8, pp. 22–26.
3. Volkov G. M. Materialovedcheskiye predposylki sozdaniya mashinostroitelnoy produktsii novogo pokoleniya [Materials science prerequisites for the establishment of a new generation of engineering products]. *Izvestiya MGTU MAMI — Proceeding of Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI)*, 2012, vol. 2(14), no. 2, pp. 41–51.
4. Volkov G. M. Osobennosti kholodnoy molekulyarnoy svarki kak klyuchevoy tekhnologii renovatsii deystvuyushchikh mashin i oborudovaniya [Features cold molecular welding as a key technology renovation of existing machinery and equipment]. *Remont, vosstanovleniye, modernizatsiya — Repair, Rehabilitation, Modernization*, 2002, no. 8, pp. 37–45.
5. Volkov G. M. Raskhodnyye materialy novogo pokoleniya dlya kholodnoy molekulyarnoy svarki [Consumables of new generation for cold molecular welding] *Konversiya v mashinostroyenii — Conversion in Mechanical Engineering*, 1999, no. 1, pp. 49–52.



# Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

**А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский**  
**КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ**  
**И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2010. — 118 с.**



В учебном пособии изложены принципы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, содержащиеся в современных нормативных документах. На примерах конкретных помещений рассмотрено использование требований нормативных документов к установлению категорий. Показана возможность изменения категорий помещений путем изменения технологии или внедрения инженерных мероприятий по снижению уровня взрывопожароопасности и повышению надежности технологического оборудования и процессов.

Пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Пожарная безопасность», «Безопасность технологических процессов и производств», «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», студентов строительных вузов и факультетов, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство», сотрудников научно-исследовательских, проектных организаций и нормативно-технических служб, ответственных за обеспечение пожарной безопасности.

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

**А. А. КИРШЕВ**, адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров Академии Государственной противопожарной службы МЧС РФ (Россия, 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: Kirschew@yandex.ru)

УДК 621.642.3.033.004.55

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ИСПАРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Проведена оценка интенсивности испарения углеводородных жидкостей при экспериментальных исследованиях способов подготовки резервуаров нефтегазового комплекса к ремонту путем принудительной вентиляции воздухом горючих газов во внутреннем пространстве резервуаров.

**Ключевые слова:** очистка; ремонтные работы; огневые работы; резервуар; вентиляция.

Проблемам безопасности объектов нефтегазового комплекса уделяется особое внимание на всех уровнях законодательной и исполнительной власти. При этом одним из актуальных вопросов является обеспечение защиты людей и территорий от воздействия опасных факторов, реализуемых при чрезвычайных ситуациях (ЧС) на складах нефти и нефтепродуктов [1].

Для оценки пожарной опасности необходимо знать интенсивность испарения углеводородсодержащих жидкостей. Аналитически интенсивность испарения может быть определена по расчетным формулам, приведенным в нормативных документах [2, 3].

Изучение закономерностей турбулентного переноса паров нефтепродукта и конвективного массообмена в газовом пространстве технологических аппаратов при вентилировании потребовало разработки и создания специального стенда, основным элементом которого является цилиндрический сосуд. Создание экспериментального стенда вызвано необходимостью исследования влияния масштаба модели на интенсивность процессов конвективного массообмена.

Как известно, при моделировании вентиляционных процессов применяется число Рейнольдса  $Re$ . Многочисленными исследованиями установлено, что в подавляющем большинстве случаев вентиляционным процессам присуща автомодельность по отношению к числу  $Re$  при сохранении геометрического подобия на входе и в стоке [4].

При моделировании процессов вентиляции необходимо соблюдать следующие условия [4]:

- 1) геометрическое подобие;
- 2)  $Re_{\Pi} > 2320$  в турбулентной области;
- 3) равенство чисел подобия в модели и натуре.

Как показали исследования [4, 5], определяющим числом подобия, позволяющим установить

связь между расходом, кратностью, воздухообменом и перепадами концентраций в характерных точках, может быть принят комплекс:

$$\frac{gl}{v^2} \frac{\Delta\rho}{\rho}, \quad (1)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$l$  — характерный линейный размер, м;

$v$  — скорость воздуха, м/с;

$\Delta\rho$  — разность плотностей газозооной смеси между двумя точками, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Так как в модели и натуре должно соблюдаться равенство чисел подобия, комплекс (1) можно записать в виде

$$\frac{gl_m}{v_m^2} \frac{\Delta\rho_m}{\rho_m} = \frac{gl_n}{v_n^2} \frac{\Delta\rho_n}{\rho_n}, \quad (2)$$

где индексы “м” и “н” означают соответственно модель и натурный объект.

Если считать, что при использовании в модели и натуре жидкости с одинаковыми свойствами  $\Delta\rho_m/(\Delta\rho_n) = 1$ , то при соблюдении равенства плотностей воздуха в модели и натуре  $\frac{\Delta\rho_m}{\Delta\rho_n} \frac{\rho_n}{\rho_m} = 1$ , а со-

отношение (2) примет вид равенства чисел Фруда:

$$Fr = gl/v^2 = \text{idem}. \quad (3)$$

Из равенства чисел Фруда в модели и натуре следует:

$$\frac{v_{\Pi}^m}{v_{\Pi}^n} = \sqrt{\frac{l_m}{l_n}} = \sqrt{m}, \quad (4)$$

где  $v_{\Pi}^n, v_{\Pi}^m$  — скорость приточного воздуха соответственно в натуре и модели, м/с;

$m$  — коэффициент подобия.

Геометрическое подобие предполагает следующее соотношение:

$$\frac{l_M}{l_H} = \left( \frac{f_M^M}{f_H^H} \right)^{1/2} = \left( \frac{F_M^M}{F_H^H} \right)^{1/2} = \left( \frac{V_M^M}{V_H^H} \right)^{1/3} = m, \quad (5)$$

где  $f_M^M$ ,  $f_H^H$  — площадь приточных отверстий соответственно в модели и натуре,  $m^2$ ;

$F_M^M$ ,  $F_H^H$  — площадь испарения соответственно в модели и натуре,  $m^2$ ;

$V_M^M$ ,  $V_H^H$  — объем резервуара соответственно в модели и натуре,  $m^3$ .

Скорость приточной струи  $v_H$  связана с расходом  $q$ , кратностью  $K_p$  и энергией приточной струи  $\varepsilon_H$  следующими соотношениями:

$$q = f_H v_H; \quad (6)$$

$$K_p = \frac{q}{V} = \frac{f_H v_H}{V}; \quad (7)$$

$$\varepsilon_H = K_p \frac{v_H^2}{2} = \frac{f_H v_H^3}{2V}. \quad (8)$$

Последовательно подставив (6), (7), (8) в (4), с учетом соотношения (5) получим:

$$q_M = q_H m^2 \sqrt{m}; \quad (9)$$

$$K_p^M = K_p^H m^{-0.5}; \quad (10)$$

$$\varepsilon_H^M = \varepsilon_H^H m^{0.5}. \quad (11)$$

При моделировании процессов вентиляции, в которых имеет место интенсивное уменьшение концентраций и отсутствует тепловыделение, обычно комплексом (1) пренебрегают, а в качестве определяющего явление подобия принимают число гомотехности  $Ho$  [6].

В процессе дегазации резервуаров отсутствуют избытки тепла, поэтому при моделировании процессов вентиляции, по-видимому, можно принять  $Ho = idem$ . Равенство чисел гомотехности предполагает:

$$\frac{v_H^M \tau_M}{l_M} = \frac{v_H^H \tau_H}{l_H}, \quad (12)$$

где  $\tau_H$ ,  $\tau_M$  — время вентиляции соответственно в натуре и модели, с.

При условии  $\tau_M = \tau_H$  получим:

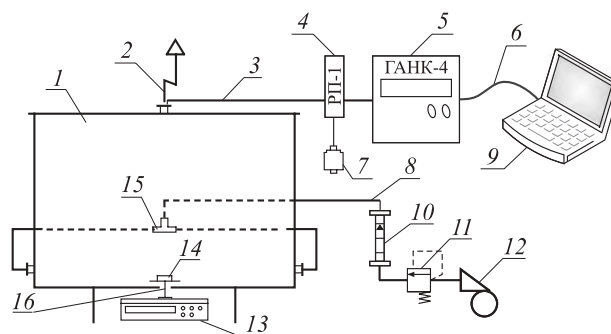
$$\frac{v_H^M}{v_H^H} = \frac{l_M}{l_H} = m. \quad (13)$$

Учитывая соотношения (6), (7), (8) и условие геометрического подобия (5), будем иметь:

$$q_M = q_H m^3; \quad (14)$$

$$K_p^M = K_p^H; \quad (15)$$

$$\varepsilon_H^M = \varepsilon_H^H m^2. \quad (16)$$



**Рис. 1.** Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 — резервуар (ЭР); 2 — линия удаления паров; 3 — поливиниловые трубки для отбора проб на газовый анализ; 4 — разбавитель (РП-1); 5 — газоанализатор универсальный “ГАНК-4”; 6 — кабель для подключения к ПЭВМ; 7 — сорбционный фильтр (ФС-1); 8 — линии подачи воздуха; 9 — ПЭВМ; 10 — ротаметр; 11 — клапан сброса избыточного давления воздуха; 12 — воздуходувка (вентилятор); 13 — электронные весы “AND EK-1200i”; 14 — емкость с нефтепродуктом; 15 — тройник; 16 — штатив

Таким образом, для получения достоверных данных на натуре необходимо установить связь плотности потока массы и концентраций в сходные моменты времени при различных масштабах моделей.

В испытаниях применялся экспериментальный резервуар (ЭР), изготовленный из органического стекла толщиной 3 мм в виде вертикального цилиндрического сосуда. ЭР конструктивно представляет собой сосуд, геометрически подобный РВС-5000, но выполненный в масштабе 1:17. Эксперименты проводились при постоянной производительности вентилятора. Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

При проведении опытов на ЭР замеряли концентрации паров горючего в газовом пространстве резервуара и в удаляемой газозооной смеси. Для этих целей использовали прибор газового анализа “ГАНК-4”.

Газоанализатор “ГАНК-4” предназначен для автоматического непрерывного контроля концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны, промышленных выбросах при отборе проб во фторопластовые емкости с использованием разбавителя, а также в технологических процессах в целях охраны окружающей среды, обеспечения безопасности труда и оптимизации технологических процессов [7].

Принцип действия газоанализатора со встроенными датчиками основан на следующих методах измерений:

- электрохимическом ( $CO$ ,  $O_2$ ,  $H_2$  и др.);
- термокаталитическом ( $CH_4$ , гексан и др.);
- полупроводниковом (стирол, бензол и др.).

Работа газоанализатора осуществляется в автоматическом режиме. Насос подает через входной



Рис. 2. Блок-схема работы газоанализатора "ГАНК-4": К — кнопка набора кода; П — кнопка пуска

штуцер газоанализатора анализируемый воздух на датчик. При измерении концентраций анализируемый воздух поступает через входной штуцер на датчик. Не более чем через 20 с сигнал поступает в вычислительное устройство, которое преобразует его и выдает на жидкокристаллический индикатор-дисплей (ЖКИ) в виде значения текущей ( $C_{тек}$ ) и средней ( $C_{ср}$ ) концентраций (в  $мг/м^3$ ).

На рис. 2 представлена блок-схема работы газоанализатора "ГАНК-4".

Для изучения особенностей процесса массообмена проведены экспериментальные исследования по оценке интенсивности испарения различных жидкостей (в том числе с водой). На рис. 3 представлены зависимости средней интенсивности испарения однокомпонентной жидкости — толуола и многокомпонентной жидкости — бензина от времени при вентиляции экспериментального резервуара.

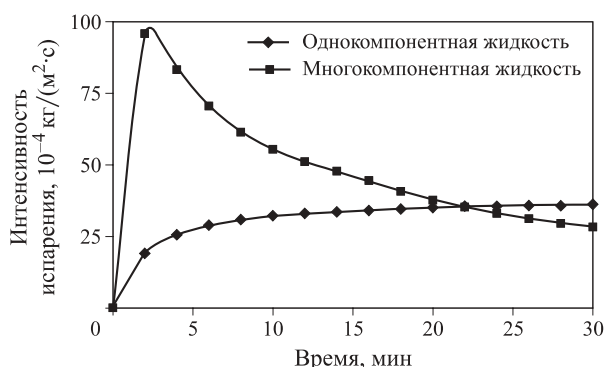


Рис. 3. Зависимость интенсивности испарения однокомпонентной и многокомпонентной жидкостей от времени

Из полученных результатов исследований видно, что данная экспериментальная установка позволяет оценивать интенсивность испарения углеводородных жидкостей в подвижную среду.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров В. П. Обеспечение пожаровзрывобезопасности при ликвидации аварий и ЧС на объектах транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов // Актуальные проблемы пожарной безопасности: матер. XXI Междунар. науч.-практ. конф. Часть 1. — М.: ВНИИПО, 2009. — С. 166–169.

2. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 182; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
3. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10.07.2009 г. № 404; введ. 10.07.2009 г. — М. : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
4. Волков О. М., Назаров В. П., Шатров Н. Ф. Моделирование процессов вентиляции резервуаров // Труды ВИАПТШ МВД СССР, вып. 4. — М., 1979. — С. 53–61.
5. Кун М. Ю. Исследование воздухообмена на модели в помещении газов тяжелее воздуха // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС, № 47. — М., 1967. — С. 21–32.
6. Эльтерман Е. М. Динамика испарения растворителей с окрашенных поверхностей // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС, вып. 70. — М., 1971. — С. 9–12.
7. Руководство по эксплуатации КПКУ 413322 002 РЭ. Версия V 8.21. Газоанализатор универсальный ГАНК-4. — М. : НПО “Прибор”, 2004. — 28 с.

*Материал поступил в редакцию 15 августа 2013 г.*

English

## DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL STAND TO ESTIMATE THE EVAPORATION RATE OF HYDROCARBON LIQUIDS SUMMARY

**KIRSHEV A. A.**, Postgraduate Student, Department of Academic Staff Training of State Fire Academy of Emercom RF (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: Kirschew@yandex.ru)

### ABSTRACT

The problems of safety of oil and gas facilities receive much attention both on legislative and executive levels. One of the acute issues is the protection of people and territories against dangerous factors caused by emergency cases at oil depots. To assess fire safety it is required to know the evaporation rate of hydrocarbon liquids.

The article is devoted to the development of an experimental stand to estimate the evaporation rate of combustible and flammable liquids. Such an experimental model is required because it is essential to study the influence of a model on convective mass transfer rates.

Complying with the conditions of ventilation modeling, an experimental tank has been created in order to estimate the evaporation rate of oil products while preparing oil and gas storage tanks for repair works by using forced air ventilation to remove combustible gases from the inside of the tanks. This experimental tank is a vertical cylindrical vessel made of organic glass of 3 mm length. The construction of this tank is similar to a vertical 5000 m<sup>3</sup> cylindrical steel tank. The scale model is 17 times smaller than the industrial tank.

One of the conditions for the experiment was the constant air flow from the fan. The article contains a fundamental scheme of the experimental stand.

During the experiment the concentration of fuel vapours inside the tank and in the gas-air mixture was measured. This was done using gas analyser GANK-4.

GANK-4 is used for the constant automatic control of the concentration of hazardous substances in the atmosphere, in the working area, in industrial waste when samples are taken and put into fluoroplastic containers together with a diluent. It is also used in technological processes to protect the environment, to guarantee workplace safety and to optimise technological processes. The article contains a block diagram of GANK-4 gas analyser.

In order to study the details of mass transfer experimental research has been conducted to estimate the evaporation rate of different liquids including water. The article contains a graph showing changes of the evaporation rate of a single-component liquid and multi-component hydrocarbon liquids while ventilating the experimental tank.

The results of the research suggest that the experimental stand can be used to estimate the evaporation rate of hydrocarbon liquids.

**Keywords:** cleaning; repair works; fire works; tank; ventilation.

## REFERENCES

1. Nazarov V. P. Obespecheniye pozharovzryvobezopasnosti pri likvidatsii avariy i ChS na obyektakh transporta i khraneniya nefti i nefteproduktov [Securing fire and explosion safety during breakdown and emergencies elimination at oil storage and oil transportation facilities]. *Aktualnyye problemy pozharnoy bezopasnosti. Materialy XXI Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Acute problems of fire safety. Materials of the 21<sup>st</sup> international scientific conference]. Part 1. Moscow, All-Russian Research Institution for Fire Protection Publ., 2009, pp. 166–169.
2. *Set of rules 12.13130.2009. Definition of categories of rooms, buildings and outdoor facilities for fire and explosion hazards*. Moscow, All-Russian Research Institution for Fire Protection Publ., 2009 (in Russian).
3. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
4. Volkov O. M., Nazarov V. P., Shatrov N. F. Modelirovaniye protsessov ventilyatsii rezervuarov [Modeled processes of tanks ventilation]. *Trudy VIPTSh MVD SSSR* [Works of Higher School of Engineering and Fire Service]. Issue 4. Moscow, 1979, pp. 53–61.
5. Kun M. Yu. Issledovaniye vozdukhoobmena na modeli v pomeshchenii gazov tyazheleye vozdukh [The research of air exchange in the premises with gases which are heavier than air in the model]. *Nauchnyye raboty institutov okhrany truda VTsSPS* [Academic papers of the USSR Trade Unions institutions for workplace safety]. Issue 47. Moscow, 1967, pp. 21–32.
6. Elterman E. M. Dinamika ispareniya rastvoriteley s okrashennykh poverkhnostey [The evaporation rate of diluents from painted surfaces]. *Nauchnyye raboty institutov okhrany truda VTsSPS* [Academic papers of the USSR Trade Unions institutions for workplace safety]. Issue 70. Moscow, 1971, pp. 9–12.
7. *Rukovodstvo po ekspluatatsii KPGU 413322 002 RE, versiya V 8.21. Gazoanalizator universalnyy GANK-4* [Operating manual KPGU 413322 002 RE, version V 8.21. Gas analyser GANK-4]. Moscow, Pripor Publ., 2004. 28 p.



# Издательство «ПОЖНАУКА»

**ВНИМАНИЕ! Распространяется БЕСПЛАТНО!**

## А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко СРЕДСТВА ОГНЕ- и БИОЗАЩИТЫ Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.



В третье издание внесены существенные изменения: включена глава, посвященная механизму огнебиозащиты древесины, расширена глава по анализу требований, содержащихся в нормативных документах по средствам огнезащиты, и их применению в практике строительства. Приведена информация ведущих производителей средств, предлагаемых на отечественном рынке для огнезащиты: древесины (пропитки, лаки и краски), несущих металлических конструкций (средства для конструктивной огнезащиты, огнезащитные штукатурки, вспучивающиеся покрытия), воздуховодов, кабелей и кабельных проходок, ковровых покрытий и тканей. Представлены также биозащитные составы для древесины.

Информация о средствах огне- и биозащиты включает данные о рекомендуемых областях их применения, эффективности, технологии нанесения, организациях-производителях.

Издание предназначено для работников проектных организаций, специалистов в области огне- и биозащиты и пожарной безопасности.

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

**В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ**, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4), профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: reglament2004@mail.ru)

**И. С. КУДРИН**, научный сотрудник кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ivankudrin@yahoo.com)

УДК 614.841.33:699.8

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ В ЛЕСТНИЧНОЙ КЛЕТКЕ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ

Ввиду отсутствия достаточных данных для оценки обеспечения безопасной эвакуации людей по лестнице в высотном здании рассмотрены вопросы эвакуации людских потоков по лестничным клеткам таких зданий и проведены натурные наблюдения. Выявлены зависимости между скоростью и плотностью людских потоков при их движении по различным видам пути. Подтверждено ранее выдвинутое предположение о том, что изменение плотности и скорости играет ключевую роль в формировании величины людского потока. Определены интервалы случайной величины скорости свободного движения для разных категорий движения при различном эмоциональном состоянии людей в потоке. Экспериментально установлено, что эффективная ширина участка пути людского потока по лестничному маршруту соответствует его ширине.

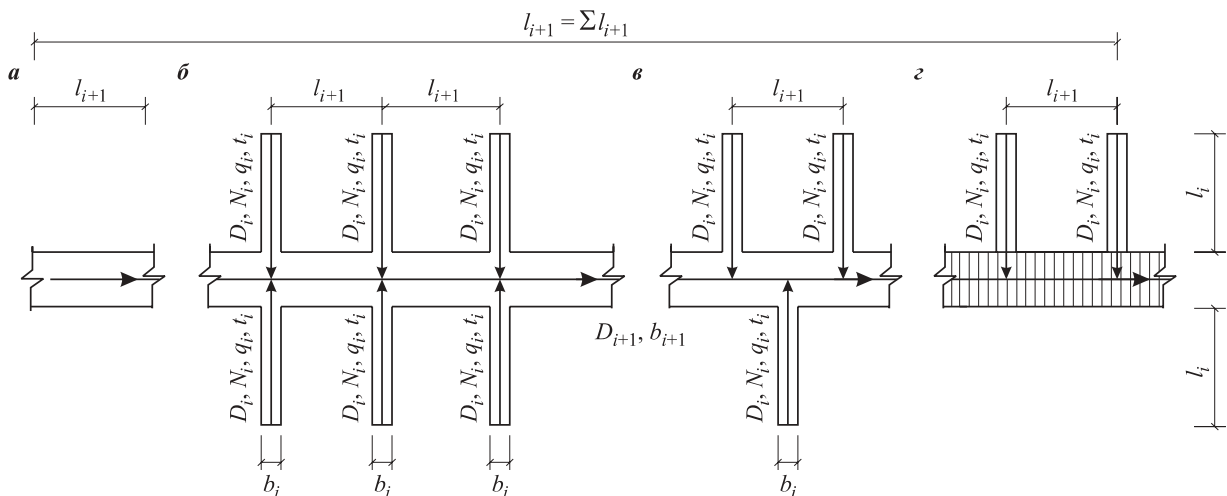
**Ключевые слова:** эвакуация по лестнице; расчетная длина пути; высотные здания; параметры движения людского потока.

### Введение

Согласно стандарту ISO/TR 16738 [1], обобщающему международный опыт исследований поведения и движения людей, “такое физическое явление, как слияние потоков, не было в достаточной мере изучено”, а “другие параметры слабо рассмотрены, несмотря на их влияние на время эвакуации, напри-

мер коэффициент слияния (где два потока людей встречаются и плотность повышается) при эвакуации в различных ситуациях”.

В самом деле, анализ структуры эвакуационных путей и выходов в зданиях различного назначения [2, 3] показывает, что слияние людских потоков является непрямым этапом процесса “эвакуации в различных ситуациях” (рис. 1).



**Рис. 1.** Варианты общей расчетной схемы путей движения людских потоков: а — поток на общем участке; б — двустороннее симметричное расположение источников; в — двустороннее несимметричное расположение источников; г — одностороннее расположение источников (лестничная клетка);  $D_i, D_{i+1}$  — плотность движения людского потока на участке  $i$  и  $i+1$  соответственно;  $N_i$  — количество человек на участке  $i$ ;  $q_i$  — интенсивность движения людей;  $t_i$  — время прохождения участка  $i$ ;  $l_i, l_{i+1}$  — длина участка  $i$  и  $i+1$  соответственно;  $b_i, b_{i+1}$  — ширина участков  $i$  и  $i+1$  соответственно

В связи с тем что это “физическое явление” “недостаточно изучено”, невозможен ни достоверный расчет времени эвакуации  $t_{эв}$  (в терминах ISO:  $t_{walking} + t_{flow}$ , т. е. сумма времени движения по эвакуационному маршруту и времени задержки прохождения сечений пути из-за образования скопления людей при их недостаточной пропускной способности), ни надежный уровень выполнения основного критерия безопасной эвакуации:  $t_{эв} \leq t_{нб}$  (в обозначениях ISO:  $t_{RSET} \leq t_{ASET}$ ).

Изучение слияния людских потоков и процессов, связанных с ним, особенно актуально для высотных зданий. Здесь слияние людских потоков при одновременной (синхронной) эвакуации со всех этажей происходит на уровне каждой поэтажной лестничной площадки, а длина эвакуационного пути может превышать 1000 м. В этом случае сложность процесса эвакуации усугубляется тем, что на лестничных площадках сливаются людские потоки, которые до этого шли по разным видам пути: люди, спускающиеся по лестнице вниз, и люди, выходящие из дверного проема выхода или горизонтального пути коридора этажа. Затем объединенный людской поток, образовавшийся на лестничной площадке, продолжает движение по лестнице вниз. По-видимому, во многом именно из-за этого в Великобритании и Китае после публикации ISO/TR 16738 [1] были проведены натурные наблюдения за слиянием людских потоков на лестницах в зданиях учебных заведений при тренировочных эвакуациях [4, 5] и в условиях их повседневной эксплуатации по окончании учебных занятий [5]. Следует отметить, что эти наблюдения в методическом отношении аналогичны исследованиям, проведенным ранее в японском университете *Kobe* [6]. Однако, судя по ссылкам на литературные источники, они не известны ни авторам этих публикаций, ни авторам отчета ISO.

Общим для перечисленных исследований является стремление “изучить специфику слияния двух потоков на лестнице, определить коэффициент слияния, выявить особенности поведения людей...” [6]. Для этого использовался и общий метод наблюдений: над одной из поэтажных площадок лестничной клетки устанавливались видеокамеры, которые в автоматическом режиме фиксировали процесс выхода на нее людей с этажа и людей, спускающихся на нее по лестнице с вышерасположенного этажа. Затем при замедленном просмотре видеозаписи в выбранные интервалы времени определялись интересующие исследователей характеристики сливающихся людских потоков и различные нюансы поведения в них людей. Таким образом, во всех исследованиях был использован кинометод натурных наблюдений [7], однако организация исследований имела принципиально различный характер.

Это различие состояло в следующем. Наблюдения, описанные в [4, 5], проводились во время одной из регулярных тренировочных эвакуаций или движения людских потоков по лестницам после окончания учебных занятий [5], на ход которых исследователи не имели возможности оказывать влияния. При исследованиях же в университете *Kobe* [6] было организовано пять серий экспериментов, в которых варьировалось время начала эвакуации групп, размещенных на смежных этажах, а в одной из серий еще и размеры пути на одном из этажей. Такое различие в организации исследований не могло не сказаться на количественных значениях параметров людских потоков, прежде всего их плотности при слиянии: максимальная плотность 2,5 чел./м<sup>2</sup> [5] наблюдалась при отсутствии возможности влияния на ход процесса эксперимента и более 8 чел./м<sup>2</sup> [6] — при его целенаправленном регулировании. Как следствие, различными исследователями применялся различный вид функций для аппроксимации полученных эмпирических зависимостей между скоростью ( $V$ ) и плотностью ( $D$ ) людских потоков при их движении по горизонтальным путям: линейная —  $V = 1,4 - 0,3724D$  [5] и степенная —  $V = 1,14206D^{-0,721994}$  [6]. Зависимости  $V = f(D)$  при движении по лестницам ни в одном из исследований почему-то не были установлены. Следует отметить, что авторы этих формул не только не уделили внимания научному обоснованию принятых ими видов функций, но и не указали области их корректного применения, хотя в [5] и отмечается, что только “при увеличении плотности до определенного значения скорость становится зависимой от плотности”.

Обращает на себя внимание и тот факт, что авторы ни одного из рассматриваемых исследований [4–6] не анализируют влияния психологической напряженности ситуации на количественные значения параметров людских потоков при их слиянии. Только в [5] лишь указывается, что “влияние скорости на плотность значительно ощущается при ЧС, люди идут почти в 2 раза быстрее...”. Между тем известно, что высокая психологическая напряженность ситуации в условиях чрезвычайной ситуации, в частности при пожаре, может коренным образом изменить поведение людей. Поэтому описываемое в [4] “джентльменское” поведение мужчин, которые, спускаясь по лестнице, придерживают мешающую их движению дверь выхода с этажа, чтобы пропустить эвакуирующихся через нее людей, или уступают дорогу женщинам в медицинской форме и людям с детьми на руках при тренировочной эвакуации в центре здоровья “Лисберна”, говорит скорее об их комфортно-спокойном состоянии, чем об имитации ими своего ожидаемого психологического состояния во время действительной чрезвычайной ситуации.

(По имеющимся данным [8] количество людей, стремящихся оказать помощь окружающим, значительно уменьшается по мере приближения угрозы, а по воспоминаниям участников эвакуации в 1993 г. из зданий Всемирного торгового центра в Нью-Йорке люди на лестницах “затаптывали” друг друга)

Представляется странным и то, что авторы публикаций [4–6] для характеристики слияния людских потоков используют такие показатели, как коэффициент вливания, коэффициент слияния, отношение коэффициента вливания к коэффициенту слияния, но не анализируют давно установленные [9, 10] кинематические соотношения между параметрами людских потоков при слиянии, приведенные и в ISO/TR 16738 (приложение G, со ссылкой на [1]).

В России натурные наблюдения слияния людских потоков начали проводиться еще в начале 50-х годов прошлого столетия в зданиях различного назначения визуальным методом [10, 11]. Корректность установленных в [10] на основании этих наблюдений кинематических закономерностей слияния людских потоков для условий движения, приближающихся к аварийным, была подтверждена экспериментальными исследованиями на трансформируемом манеже, выполненными курсантами ВИПТШ МВД СССР [12].

Вытекающее из этих закономерностей соотношение между параметрами людских потоков на смежных участках эвакуационного пути

$$q_{n+1} = \sum q_n \delta_n / \delta_{n+1} \leq q_{\max}$$

обеспечивает беспрепятственность движения людских потоков, а его нарушение ( $q_{n+1} > q_{\max}$ ) ведет к образованию скоплений на границе следующего  $(n + 1)$  участка. Поэтому эти соотношения широко используются при нормировании размеров эвакуационных путей и выходов, а также при расчетах пожарных рисков.

Инвариантность установленных закономерностей в широких пределах позволила распространить их на все виды пути, однако их корректность применительно к движению по лестнице никогда экспериментально не исследовалась при помощи фотометода, более точного, чем использованный при их установлении визуальный метод натурных наблюдений. Объективной причиной этого было отсутствие до последнего времени необходимой кино- и видеоаппаратуры.

Изложенные аспекты побудили специалистов кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России провести экспериментальные исследования слияния людских потоков в лестничных клетках многоэтажных зданий.

### Организация и методика проведения эксперимента по изучению движения людских потоков в высотном здании

Согласно [10] “размещение людей в потоке (как по длине, так и по ширине) имеет всегда неравномерный и часто случайный характер. Расстояние между идущими людьми постоянно меняется, возникают местные уплотнения, которые затем рассасываются и возникают снова”. Отсюда следует, что поток в пределах участка, занимаемого им, неоднороден. Его можно условно разделить на части с различными параметрами. При этом головная и замыкающая части состоят из небольшого числа людей, движущихся соответственно с большей и меньшей скоростью, чем основная масса людей в потоке. При эвакуации головная часть потока уходит с большей скоростью вперед, возрастая и по длине, и числу людей в ней, а замыкающая часть, наоборот, уменьшается. Таким образом, людской поток, выходящий с этажа на лестничную площадку, может сливаться с различными частями людского потока, движущегося по лестнице вниз. И наоборот, людской поток, движущийся по лестнице вниз, может сливаться с различными частями потока, выходящего с этажа. Поэтому организация проведения экспериментов была направлена на создание условий для наблюдения за разными вариантами слияний различных частей потоков. Для этого было организовано четыре серии эксперимента:

- первая: головные части потоков, выходящие с этажа и движущиеся по лестнице вниз, попадают на лестничную площадку одновременно (рис. 2,а);
- вторая: головная часть потока, спускающегося по лестнице, сливается с основной частью потока, выходящего с этажа, в общий поток, который уже движется по лестничной площадке этажа (рис. 2,б);
- третья: головная часть потока, выходящего с этажа, сливается с замыкающей частью потока, спускающегося по лестнице (рис. 2,в);
- четвертая: аналогична второй, но перед дверным проемом выхода с одного из этажей устанавливается препятствие, сужающее участок пути перед проемом, что может повлиять на величину потока, выходящего с этажа (рис. 2,г).

Эксперимент проводился в 16-этажном здании общежития Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. Геометрические размеры планировочных решений этажа и лестничной клетки представлены на рис. 2,а. В эксперименте принимали участие юноши и девушки в возрасте 20–23 лет, учащиеся Академии.

С учетом ранее проведенных исследований [2] было принято, что в эксперименте должно участво-

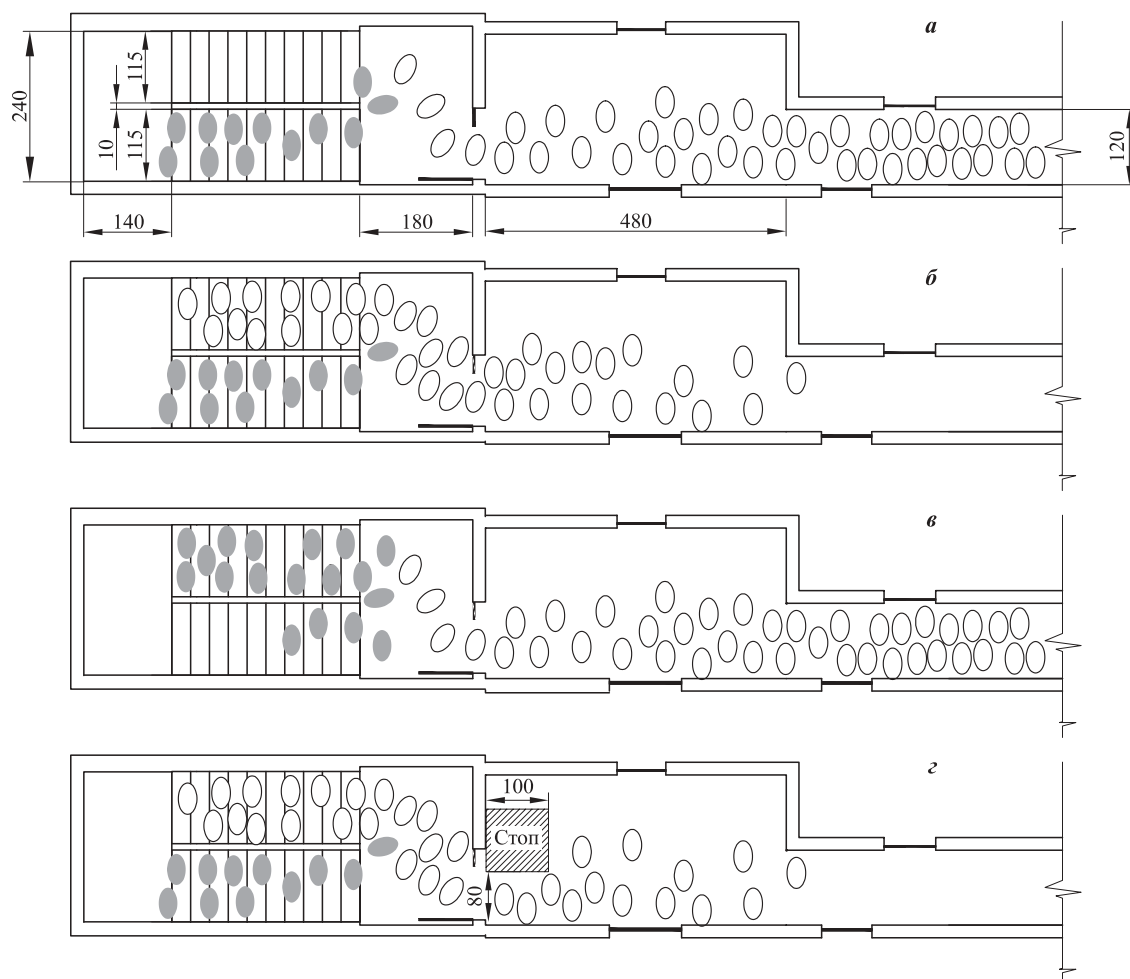


Рис. 2. Схемы слияний людских потоков, рассмотренных в четырех сериях экспериментов



Рис. 3. Расчетная схема движения людского потока при эксперименте (высота этажа 3 м; длина марша 3 м; ширина марша 1,15 м; уклон 30°):  $l_1$  — длина участка коридора, на котором расположены 1, 2 и 3-я группы людей;  $l_2$  — длина участка коридора перед выходом на лестничную площадку;  $b_1$  — ширина участка коридора, на котором расположена одна из групп;  $b_2$  — ширина участка коридора перед выходом на лестничную площадку;  $b_0$  — ширина дверного проема перед выходом на лестничную площадку;  $b_{зд}$  — ширина дверного проема перед выходом из здания наружу

вать четыре потока эвакуирующихся. Их расположение показано на расчетной схеме эвакуации, приведенной на рис. 3. Такое количество потоков обеспечит вариативность слияния людских потоков и создание высоких плотностей потоков на лестничном марше и на площадке.

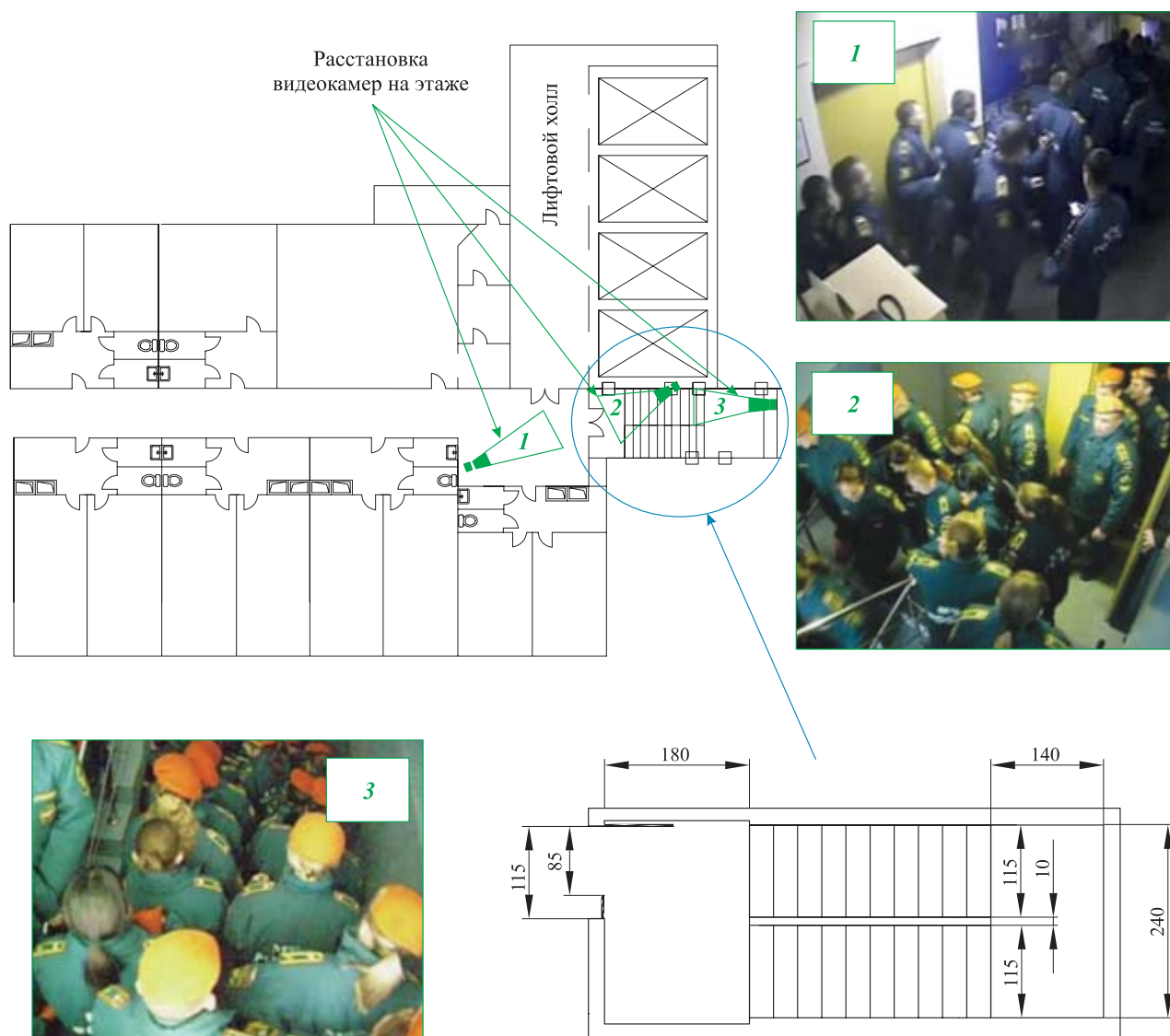
При планировании эксперимента для определения количества участников и их подразделения на группы, определения момента времени подачи сигнала “Начало движения” для каждой из групп предварительно проводилось моделирование движения людских потоков с использованием имитационно-стохастической модели [13, 14] по программе “Флоутек-ВД” [15]. Запланированное распределение участников эксперимента по группам, их численность и время подачи сигнала приведены в табл. 1. Перед началом эксперимента для фиксации характеристик

**Таблица 1.** Размещение групп по этажам и время подачи сигнала при проведении натурных наблюдений

| Номер группы | Этаж | Количество человек в группе/<br>Момент подачи сигнала, с, в эксперименте |            |            |            |
|--------------|------|--------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|
|              |      | № 1                                                                      | № 2        | № 3        | № 4        |
| 1            | 5    | 51м/23                                                                   | 55м/0      | 47м/45     | 32м/0      |
| 2            | 6    | 60ж/15                                                                   | 50ж/0      | 42ж/45     | 32ж/6      |
| 3            | 7    | 40м/6                                                                    | 26м/0      | 30м/6      | 24м/0      |
| 4            | 8    | 30ж/0                                                                    | 29ж/0      | 29ж/0      | 29ж/0      |
| <b>Всего</b> |      | <b>181</b>                                                               | <b>160</b> | <b>148</b> | <b>117</b> |

Примечание: “м” — состав группы — мужчины, “ж” — состав группы — женщины.

движения людского потока была произведена расстановка видеокамер Samsung ES25 по схеме, приведенной на рис. 4.



**Рис. 4.** Схема расстановки видеокамер на этаже и в лестничной клетке: 1 — перед выходом с этажа в лестничную клетку; 2 — в лестничной клетке для фиксации движения людей по лестничной площадке; 3 — на лестнице для фиксации движения людей по лестничному маршу

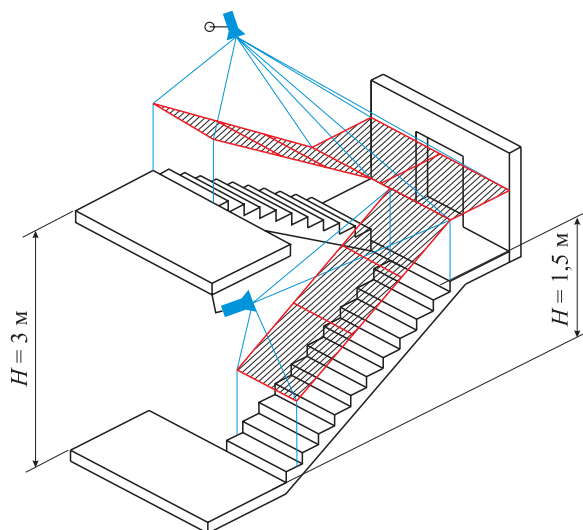


Рис. 5. Расположение масштабной сетки перед проведением эксперимента

Положение каждого человека в потоке определялось при помощи зафиксированной в начале эксперимента сетки (рис. 5), учитывающей перспективные искажения [7]. Размеры ячейки сетки  $\Delta l$  —  $1 \times 1$  м.

#### Установление геометрии участков пути движения по лестничной клетке

Определение пути движения людского потока на лестничной площадке потребовало установления его геометрического очертания. Так, при движении потока по лестничной площадке люди двигаются в пределах половины окружности, образованной радиусом, равным ширине лестничного марша или сумме ширин проекций двух идущих рядом людей (рис. 6,а). В момент слияния потоков на лестничной площадке площадь участка, занимаемого людьми, увеличивается за счет людей из потока, выходящего из дверного проема с этажа (рис. 6,б).

Длина пути по лестничной площадке определялась с учетом фактически описанной дуги, образуемой траекторией пути, пройденного каждым отдельным человеком. Длина пути устанавливалась исходя из радиуса данной дуги за вычетом 0,3 м (половины ширины габарита тела человека). Так, при прохождении по большому радиусу, равному 1,2 м, фактическое расстояние составляло  $l = \pi(R - 0,3) = 3,14 \cdot (1,2 - 0,3) = 2,8$  м.

Натурные наблюдения в пределах лестничной клетки свидетельствуют о том, что фактическая “эффективная” ширина потока на марше лестницы не только не меньше расстояния между перилами, а наоборот, больше его за счет свисания верхней части тела человека (выше пояса) над перилами во внешнюю сторону.

Отсюда следует, что предложение ISO 16738 [1], принятое на основании рекомендаций *Pauls J. L.* [16], определять ширину пути по лестничному маршу

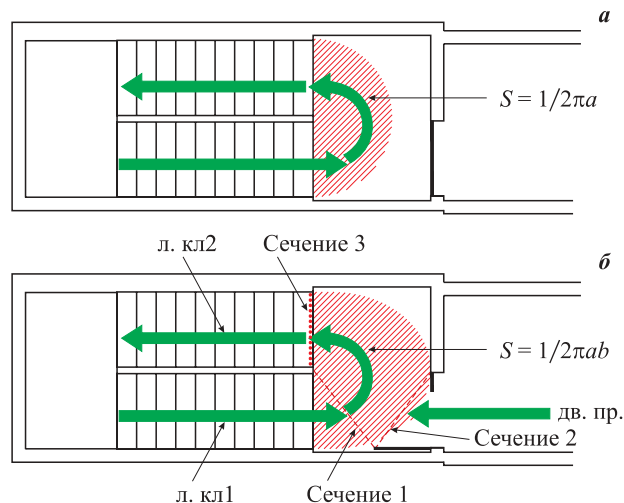


Рис. 6. Расчетная площадь  $S$  лестничной площадки, занятой людским потоком: а — при движении по лестнице без слияния на лестничной площадке; б — при движении по лестнице с учетом слияния людских потоков на лестничной площадке; дв. пр — людской поток, выходящий с этажа через дверной проем; л. кл1 — людской поток, спускающийся по лестничному маршу на лестничную площадку; л. кл2 — людской поток, спускающийся с лестничной площадки на лестничный марш; — — — — границы участков слияния потоков; ..... — граница перехода слившегося потока на следующий участок пути

как расстояние от перил до перил, уменьшенное на 9 см с каждой стороны, оказывается несостоятельным, поскольку противоречит натурным наблюдениям.

#### Выявление зависимости между скоростью и плотностью людских потоков при их движении по различным видам пути

Обработка натурных наблюдений производилась путем фиксации длины пути и времени движения каждого человека на рассматриваемом участке. Для этого, после того как человек попадал в зону ячейки сетки, начинался отсчет количества кадров  $n$ , за которые человек проходит расстояние  $\Delta l = 1$  м, т. е. до его выхода из этой зоны. В момент его движения определялась средняя плотность людского потока на  $i$ -м участке  $D_i$  (чел./м<sup>2</sup>) по формуле

$$D_i = N_i / (b_i l_i), \quad (1)$$

где  $N_i$  — количество человек на  $i$ -м участке пути;  $b_i, l_i$  — геометрические размеры  $i$ -го участка пути.

Далее рассчитывалась скорость  $V$  в зависимости от числа кадров  $n$ , сделанных, пока человек находился в пределах ячейки сетки:

$$V = 60 \left( \frac{\sum_1^n \Delta l}{\sum_1^n \Delta t} \right), \quad (2)$$

где  $\Delta t$  — время прохождения участка длиной  $\Delta l$ , зависящее от количества кадров в секунду.

В результате такой дешифровки для каждого наблюдаемого участка пути в каждой серии натурных экспериментов были получены пары значений  $D_i - V_i$ . Затем для каждого участка это множество пар значений было разгруппировано по интервалам плотности людского потока, величина каждого из которых была принята равной 1 чел./м<sup>2</sup>. В пределах каждого интервала плотности  $D_i$  значения  $V_i$  группировались в ранжированные ряды с интервалом ранжирования  $\Delta V = 10$  м/мин. Для полученных интервалов вычислялись эмпирические частоты. Таким образом, выборочные совокупности эмпирических данных формировались по общепринятой методике статистической обработки данных [7].

Как известно из математической статистики, по данным эмпирических распределений выборочных совокупностей должен определяться закон распределения наблюдаемых случайных величин и значения их характеристик. Поскольку, как показано в [17], случайная величина  $V_i$  имеет нормальный закон распределения, то полученные выборочные совокупности эмпирических данных были проанализированы по критерию  $\chi^2$ . Проведенный при помощи статистической программы "STATISTICA v. 7.0.61.0" анализ показал, что полученные совокупности действительно подчиняются нормальному закону распределения.

Выборочные совокупности были сгруппированы по видам пути  $j$  (лестница вниз, дверной проем, горизонтальный путь на участке слияния людских потоков на лестничной площадке). Последовательность полученных для каждого интервала плотности числовых значений случайной величины скорости (математического ожидания  $m(V_{Dj})$  и дисперсии  $\sigma(V_{Dj})$ ) позволяет выявить тенденцию зависимости скорости от последовательно изменяющейся плотности, а затем приступить к поиску вида наиболее адекватно описывающей ее математической функции [13, 18]. В общем виде зависимость скорости движения людского потока  $V_{Dj}$  от его плотности описывается формулой

$$V_{Dj} = V_{0j}(1 - R_{Dj}), \quad (3)$$

в которой  $V_{0j}$  — скорость свободного движения людского потока, т. е. когда его плотность не оказывает влияния на скорость движения в нем людей;  $R_{Dj}$  — реакция людей в потоке на изменение его плотности, выражающаяся в соответствующем изменении скорости потока.

Для того чтобы получить закономерность изменения реакции людей, выраженной в изменении скорости в зависимости от плотности (см. формулу (3)), необходимо перейти к относительным величинам, нивелирующим влияние эмоционального состояния людей в различных ситуациях натурных наблюде-

ний. Величина  $R_{Dj}$  характеризует степень (силу) влияния внешнего фактора на сенсорную систему человека. Эмпирические значения  $R_{Dj}$  определяются для каждого интервала плотности по данным серий натурных наблюдений в соответствии с формулой

$$\bar{R}_{Dj} = \Delta V_{Dj} / V_{0j}, \quad (4)$$

где  $\Delta V_{Dj}$  — разность между математическим ожиданием скорости в интервале плотности  $D = 0 \dots 1$  чел./м<sup>2</sup> и математическим ожиданием скорости в интервале плотности, для которой определяется степень влияния внешнего фактора на сенсорную систему человека;

$$\Delta V_{Dj} = m(V_{0j}) - m(V_{Dj}).$$

Теоретические значения  $R_j^T$  определяются функцией  $R_j^T = f(D)$ , которая подбирается для аппроксимации данных натурных наблюдений. Функция, выбираемая для описания зависимости скорости от плотности, может иметь реальное содержание только тогда, когда она адекватна внутренним отношениям между описываемыми ею явлениями или, по крайней мере, отражает эти явления с достаточной степенью приближения. Многолетние исследования в области движения людских потоков привели к убеждению, что влияние плотности людского потока на его скорость определяется психофизическими закономерностями. Анализ области действия основных психофизических законов привел к заключению [13], что отношения между скоростью и плотностью должны подчиняться логарифмическим соотношениям Вебера–Фехнера (5), что в дальнейшем и было подтверждено в [18]:

$$R_{Dj}^T = a_j \ln \left( \frac{D_j}{D_{0j}} \right), \quad (5)$$

где  $D_j$  — значение плотности людского потока (середина интервала), при котором определяется значение  $R_{Dj}^T$ ;

$D_{0j}$  — пороговое значение плотности потока, по достижении которого она начинает ощущаться как воздействующий фактор при движении по  $j$ -му виду пути;

$a_j$  — эмпирический коэффициент, отражающий интенсивность воздействия плотности при движении по  $j$ -му виду пути.

В результате аппроксимации эмпирических значений  $\bar{R}_{Dj}$  значения  $a_j$  и  $D_{0j}$  определяются методом наименьших квадратов. Иллюстрация результатов аппроксимации приведена на рис. 7.

Значения математического ожидания случайной величины скорости свободного движения  $m(V_{0j})$  для соответствующих видов пути составили: по лестничному маршу — 106,5 м/мин, через дверной проем — 90,2 м/мин, по лестничной площадке — 94,2 м/мин.

Для оценки тесноты связи между полученными значениями  $R_j^T$  и  $D$  по общей методике математической статистики определялось теоретическое корреляционное отношение  $\eta_T$ :

$$\eta_T = \sqrt{\sigma_{R^T}^2 / \sigma_{R_j}^2}, \quad (6)$$

где  $\sigma_{R^T}^2$  — дисперсия, вычисленная для теоретического значения  $R^T$ ;  
 $\sigma_{R_j}^2$  — дисперсия, вычисленная для эмпирического значения  $R_j$ .

Для различных видов пути были установлены следующие значения параметра  $\eta_T$ : для лестничного марша — 0,978; дверного проема — 0,982; горизонтального пути (лестничная площадка) — 0,955. Высокие значения теоретического корреляционного отношения для всех видов пути ( $\eta_T \geq 0,95$ ) определяют установленную связь практически как функциональную ( $\eta_T = 1$ ).

Поскольку математические ожидания  $m(V_0)$  для различных видов пути имеют близкие значения, был проведен статистический анализ их возможной однородности для получения общего среднего значения  $V_0$ . При сравнении значений математических ожиданий использовался критерий Стьюдента (Т-критерий), значения которого вычисляются по формуле

$$T_{\text{набл}} = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{(n-1)S_x^2 + (m-1)S_y^2}} \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}}, \quad (7)$$

где  $m$  — количество экспериментальных данных во второй выборке;

$n$  — количество экспериментальных данных в первой выборке;

$S_x$  — стандартное отклонение в первой выборке;

$S_y$  — стандартное отклонение во второй выборке;

$\bar{X}$  — среднее значение  $V_0$  первой выборки;

$\bar{Y}$  — среднее значение  $V_0$  второй выборки.

Для сравнения значений дисперсий в интервале  $D = 0 \dots 1$  чел./м<sup>2</sup> использовался критерий Фишера (F-критерий), вычисляемый по формуле

$$F_{\text{набл}} = S_6^2 / S_M^2, \quad (8)$$

где  $S_6$ ,  $S_M$  — стандартное отклонение в большей и меньшей выборке соответственно.

Поскольку наблюдаемые значения критериев не превышали критических, то гипотеза об однородности выборочных совокупностей подтверждается.

Выявление однородных выборочных совокупностей позволило выделить три категории движения в соответствии с наблюдаемым поведением людей: повышенной активности, активное, спокойное. Для количественного определения границ выделенных категорий движения использован двойной показа-

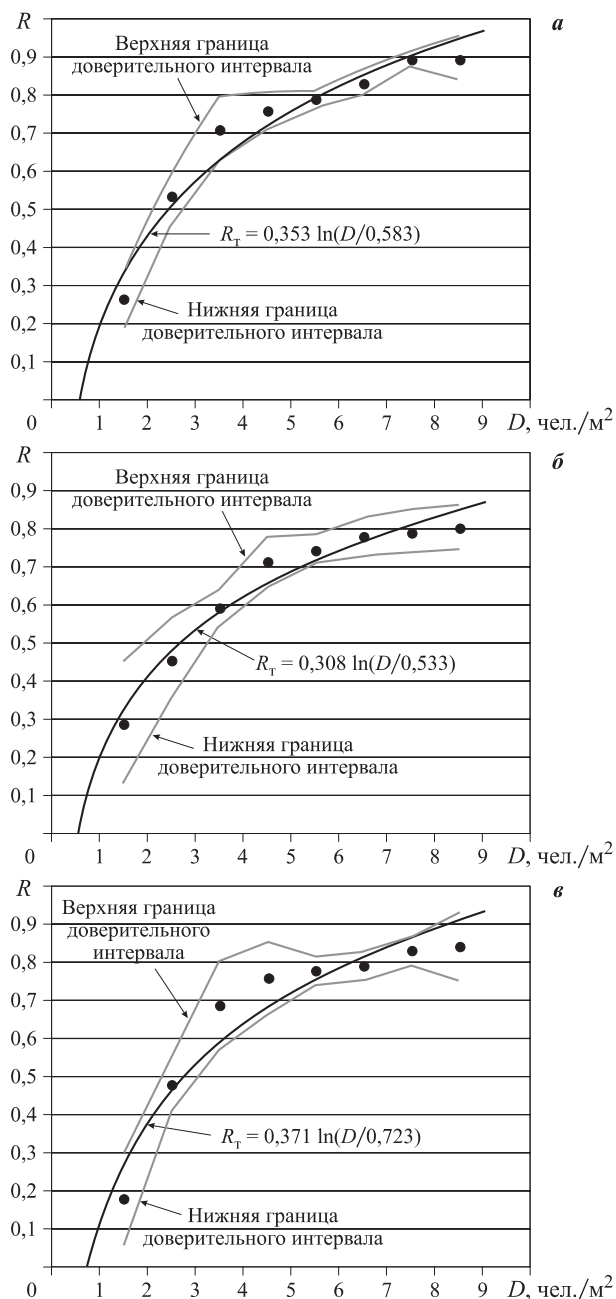


Рис. 7. Зависимости  $R_j^T = f(D)$ : а — лестничный марш; б — дверной проем; в — лестничная площадка; • — эмпирические средние значения  $\bar{R}_{Dj}$

тельный закон [19, 20], который описывает распределение вероятностей  $P(V_n)$  максимальных значений скоростей (крайних членов выборки  $V_n$ ):

$$P(V_n) = e^{-e^{-x}}, \quad (9)$$

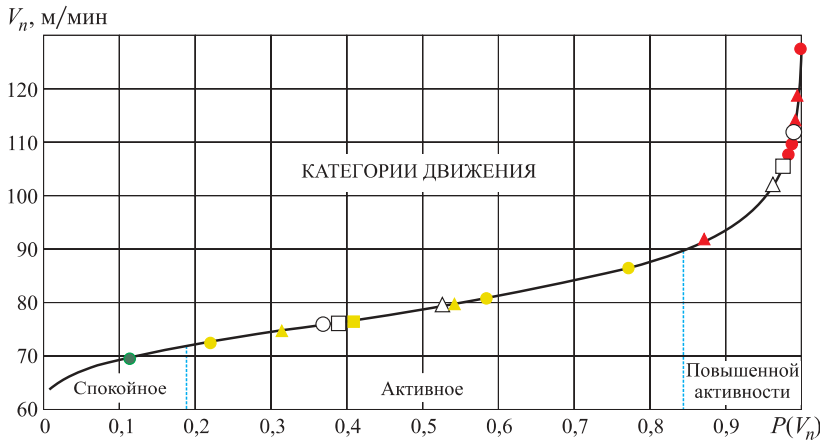
где  $x$  — нормативное отклонение от моды кривой плотности вероятности распределения  $P(V_n)$ ;

$$x = a(V_n - g);$$

$a, g$  — константы;  $a > 0$ .

Эмпирические вероятности определялись по формуле

$$P(V_n) = n/(N + 1). \quad (10)$$



**Рис. 8.** Зависимость  $V_0 = f(P(V))$  с отображением скоростей свободного движения для лестничного марша (○), дверного проема (□), лестничной площадки (△), с нанесением на него средних значений выборки для головных частей потока повышенной активности (красный цвет), для основных частей потока, пребывающих в активном состоянии (желтый), для замыкающей части, находящейся в спокойном состоянии (зеленый), и для средних значений по всем выборкам для головной и основной частей потока (белый)

Нормативное уклонение от моды кривой плотности вероятности распределения  $X_n$  для каждого значения  $P(V_n)$  определялось по табл. IX приложения [20]. Для перехода от максимальных значений скоростей движения отдельных людей в потоке к их средним значениям был использован закон о невозможности превышения максимальным членом выборки ее удвоенного среднего значения [21]. В итоге получаем уравнение, описывающее изменение скорости свободного движения потока  $V_0^3$  под влиянием эмоционального состояния людей в потоке и тем самым отражающее общую тенденцию возрастания влияния уровня эмоционального состояния  $V_3$  на двигательную активность людей:

$$V_0^3 = 69,433 - 18,157 \lg [-\lg P(V_n)]. \quad (11)$$

График, построенный по уравнению (11), приведен на рис. 8. Он позволяет категорировать скорости движения людского потока в зависимости от уровня эмоционального состояния находящихся в нем людей и соотносить с ними средние значения скоростей свободного движения, наблюдаемые на различных этапах эксперимента.

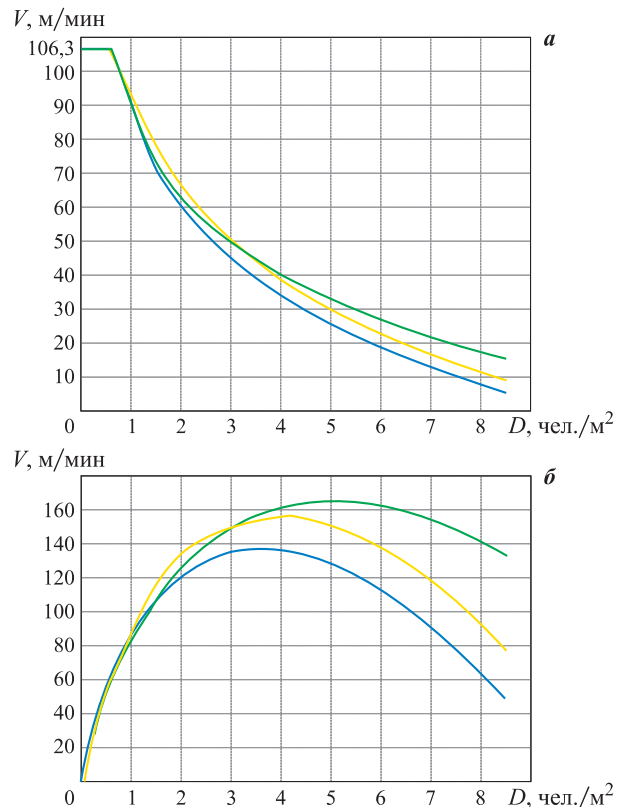
Прежде всего выделяется интервал, который относится к спокойному движению ( $0 < V_3 < 0,19$ ), когда воздействие психологической напряженности на двигательную активность людей можно охарактеризовать как нейтральное. Далее идет более интенсивное изменение скорости свободного движения: интервал  $0,19 < V_3 < 0,85$  относится к активному движению. И наконец, наблюдается резкое изменение скорости свободного движения ( $0,85 < V_3 < 0,999$ ), что в явном виде относится к движению повышенной активности. Ниже представлены значения скорости свободного движения людского потока  $V_{0j}$  для всех рассматриваемых видов пути в выделенных категориях движения: спокойное — менее 72 м/мин; активное — 72–90 м/мин; повышенной активности — более 90 м/мин.

Средние значения отдельных выборочных совокупностей в интервале плотности  $D = 0 \dots 1$  чел./м<sup>2</sup>

“разнесены” на рис. 8 по установленным категориям движения, соответствующим различным эмоциональным состояниям. Такое распределение соответствует характеру поведения людей, наблюдаемому по отснятому киноматериалу.

Для категории движения повышенной активности графики функций  $V = f(D)$  с учетом полученного значения  $m(V_0) = 106,3$  м/мин ( $\sigma(V) = 8,8$  м/мин) при соответствующих каждому виду пути значениях  $a_j$  и  $D_{0j}$  представлен на рис. 9, а, а график зависимости  $q = f(D)$  — на рис. 9, б.

Значения плотности людского потока  $D$ , при которых достигаются максимальные значения интен-



**Рис. 9.** Зависимости  $V = f(D)$  (а) и  $q = f(D)$  (б) по различным видам пути: — лестничный марш; — дверной проем, — лестничная площадка

**Таблица 2.** Максимальные значения интенсивности движения  $q_{\max}$  в зависимости от плотности людского потока  $D$ 

| Вид пути            | Значение $D$ , чел./м <sup>2</sup> | $q_{\max}$ , м/мин |
|---------------------|------------------------------------|--------------------|
| Лестничный марш     | 3,64                               | 137                |
| Дверной проем       | 5,04                               | 165                |
| Лестничная площадка | 3,94                               | 155                |

сивности движения  $q_{\max}$  для различных видов пути, сведены в табл. 2.

Полученные данные показывают высокую степень соответствия динамики изменения параметров людских потоков установленной ранее и используемой в нормировании [2, 22, 23]. Так, максимальная интенсивность движения людских потоков по лестнице вниз соответствует плотности 4 чел./м<sup>2</sup> ( $q = 160$  м/мин), через дверной проем — 5 чел./м<sup>2</sup> ( $q = 199$  м/мин), по горизонтальному пути — 5,6 чел./м<sup>2</sup> (164 м/мин), т. е. тем же интервалам значений плотности потоков, что и в ранее проведенных исследованиях. Однако в полученных зависимостях значения  $a_j$  выше, чем в ранее установленных зависимостях, что ведет к более резкому снижению скорости потока при возрастании его плотности. Это можно объяснить как составом людей в экспериментальных потоках, так и тем, что в данном случае люди испытывают влияние многократных поворотов и слияний потоков на лестничных площадках, чего не наблюдается при движении по лестницам малоэтажных зданий.

#### Анализ закономерности слияния людских потоков в лестничной клетке

Для каждого этажа в каждом эксперименте были определены величины потоков, участвующие в слиянии, по формуле

$$P_{\Pi} = \sum N/t, \quad (12)$$

где  $t$  — продолжительность этапа слияния людских потоков.

Потоки, проходящие по лестничной площадке, фиксировались по факту перехода сечения 3 (см. рис. 6). При этом определялись величины потока людей, выходящего из дверного проема ( $P_{\text{дв.пр}}$ ), спускающегося по лестнице с вышележащего этажа ( $P_{\text{л.кл1}}$ ) и спускающегося с лестничной площадки на лестницу вниз ( $P_{\text{л.кл2}}$ ) (см. рис. 6,б).

Характеристики потоков, участвующих в слиянии на лестничных площадках 5, 6 и 7-го этажей, и общего потока представлены в табл. 3.

Данные, приведенные в табл. 3, свидетельствуют о выполнении равенства (11) во всех экспериментах и на всех этажах. Так, например, в эксперименте № 1 на 6-м этаже имеем:  $P_{\text{л.кл1}} + P_{\text{дв.пр}} = 45 + 60 = 105$  чел./мин. Полученное значение суммы двух сливающихся по-

токов соответствует величине общего потока  $P_{\text{л.кл2}} = 105$  чел./мин.

Выразив величину потока через интенсивность движения, получим:

$$P_i = q_i b_i. \quad (13)$$

Тогда общее выражение для определения интенсивности движения общего потока  $q_{\text{л.кл2}}$ , образовавшегося перед лестничным маршем в результате слияния потоков на лестничной площадке, можно записать в виде:

$$q_{\text{л.кл2}} = q_{\text{л.кл1}} b_{\text{л.кл1}} + q_{\text{дв.пр}} b_{\text{дв.пр}} / b_{\text{л.кл2}}. \quad (14)$$

С учетом формулы для интенсивности движения людского потока  $q$ , приведенной в [11], имеем:

$$q_i = D_i V_i. \quad (15)$$

Чтобы определить причину изменения величины потока в зависимости от условий, характерных для различных серий эксперимента, запишем уравнение в общем виде:

$$P_i = V_i D_i b_i. \quad (16)$$

Тогда получим равенство:

$$V_{\text{л.кл2}} D_{\text{л.кл2}} b_{\text{л.кл2}} = V_{\text{л.кл1}} D_{\text{л.кл1}} b_{\text{л.кл1}} + V_{\text{дв.пр}} D_{\text{дв.пр}} b_{\text{дв.пр}}. \quad (17)$$

Для каждого периода слияния определим параметры движения ( $V_i$ ,  $D_i$ ,  $b_i$ ) для каждой из частей потока: выходящей с этажа через дверной проем; спускающейся по лестничному маршу на лестничную площадку, и общего потока, выходящего с лестничной площадки на лестничный марш. Скорость и плотность движения определялись как средние значения, ширина потока — в соответствии с геометрией лестничной клетки и дверного проема. Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что величина общего потока зависит от параметров его сливающихся составляющих. Например, для 6-го этажа в эксперименте № 2 по формуле (17) получим:  $60 \cdot 2,6 \cdot 1,15 = 47 \cdot 1,5 \cdot 1,15 + 32 \cdot 3,8 \cdot 0,86$ . Изменение параметров общего потока за счет изменения характеристик сливающихся потоков ( $V_i$ ,  $D_i$ ,  $b_i$ ) и является объяснением “долей участия” каждого потока в слиянии, которые ищутся экспериментаторами [4–6], не учитывающими уже установленные закономерности слияния людских потоков.

Так, в диссертационной работе [4] для характеристики слияния людских потоков используется такой показатель, как коэффициент вливания ( $N_a / (N_a + N_b)$ ), и говорится о его нестабильной количественной характеристике. Как показывают натурные наблюдения, вполне очевидно, что этот показатель варьируется, поскольку он зависит от параметров людского потока, изменяющихся при движении. Так, коэффи-

Таблица 3. Характеристики сливающихся и общего потоков, проходящих через сечение 3

| Характеристика                                 | Составляющие общего потока                               |                                                    | Общий поток<br>$P_{\text{л.кл2}}$ |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                                | Поток, спускающийся с верхнего этажа, $P_{\text{л.кл1}}$ | Поток, движущийся с этажа вниз, $P_{\text{дв.пр}}$ |                                   |
| 7-й этаж, эксперимент № 1                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния, с (мин)           | 15 (0,25)                                                |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 25                                                       | 19                                                 | 44                                |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $25/0,25 = 100$                                          | $19/0,25 = 76$                                     | $44/0,25 = 176$                   |
| 7-й этаж, эксперимент № 2                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния, с (мин)           | 4 (0,07)                                                 |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 8                                                        | 4                                                  | 12                                |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $8/0,07 = 114$                                           | $4/0,07 = 57$                                      | $12/0,07 = 171$                   |
| 7-й этаж, эксперимент № 3                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния, с (мин)           | 20 (0,33)                                                |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 29                                                       | 18                                                 | 37                                |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $29/0,33 = 88$                                           | $18/0,33 = 54$                                     | $37/0,33 = 112$                   |
| 7-й этаж, эксперимент № 4                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния, с (мин)           | 15 (0,25)                                                |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 21                                                       | 9                                                  | 30                                |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $21/0,25 = 84$                                           | $9/0,25 = 36$                                      | $30/0,25 = 120$                   |
| 6-й этаж, эксперимент № 1                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния                    | 59 (0,98)                                                |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 44                                                       | 59                                                 | 103                               |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $44/0,98 = 45$                                           | $59/0,98 = 60$                                     | $103/0,98 = 105$                  |
| 6-й этаж, эксперимент № 2                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния, с (мин)           | 27 (0,45)                                                |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 36                                                       | 47                                                 | 83                                |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $36/0,45 = 80$                                           | $47/0,45 = 104$                                    | $83/0,45 = 184$                   |
| 6-й этаж, эксперимент № 3                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния, с (мин)           | 12 (0,2)                                                 |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 6                                                        | 20                                                 | 26                                |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $6/0,2 = 30$                                             | $20/0,2 = 100$                                     | $26/0,2 = 130$                    |
| 6-й этаж, эксперимент № 4                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния, с (мин)           | 22 (0,37)                                                |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 25                                                       | 27                                                 | 52                                |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $25/0,37 = 68$                                           | $27/0,37 = 73$                                     | $52/0,37 = 141$                   |
| 5-й этаж, эксперимент № 1                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния, с (мин)           | 56 (0,93)                                                |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 65                                                       | 52                                                 | 117                               |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $65/0,93 = 70$                                           | $52/0,93 = 56$                                     | $117/0,93 = 126$                  |
| 5-й этаж, эксперимент № 2                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния, с (мин)           | 25 (0,42)                                                |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 29                                                       | 42                                                 | 71                                |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $29/0,42 = 69$                                           | $42/0,42 = 100$                                    | $71/0,42 = 169$                   |
| 5-й этаж, эксперимент № 3                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния, с (мин)           | 36 (0,6)                                                 |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 39                                                       | 30                                                 | 69                                |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $39/0,6 = 65$                                            | $30/0,6 = 50$                                      | $69/0,6 = 115$                    |
| 5-й этаж, эксперимент № 4                      |                                                          |                                                    |                                   |
| Время существования слияния, с (мин)           | 35 (0,58)                                                |                                                    |                                   |
| Число человек в потоках, участвующих в слиянии | 38                                                       | 26                                                 | 64                                |
| Величина потока $P_{\text{п}}$ , чел./мин      | $38/0,58 = 65$                                           | $26/0,58 = 45$                                     | $64/0,58 = 110$                   |

**Таблица 4.** Параметры движения людских потоков, участвующих в слиянии на лестничной площадке

| $P_{л.кл1}, \text{чел./мин}$     |                               |                | $P_{дв.пр}, \text{чел./мин}$ |                               |                | $P_{л.кл2}, \text{чел./мин}$ |                               |                |
|----------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|
| $V_{л.кл1}, \frac{м}{мин}$       | $D_{л.кл1}, \frac{чел.}{м^2}$ | $b_{л.кл1}, м$ | $V_{дв.пр}, \frac{м}{мин}$   | $D_{дв.пр}, \frac{чел.}{м^2}$ | $b_{дв.пр}, м$ | $V_{л.кл2}, \frac{м}{мин}$   | $D_{л.кл2}, \frac{чел.}{м^2}$ | $b_{л.кл2}, м$ |
| <i>5-й этаж, эксперимент № 1</i> |                               |                |                              |                               |                |                              |                               |                |
| 70                               |                               |                | 56                           |                               |                | 126                          |                               |                |
| 35,8                             | 1,7                           | 1,15           | 18,3                         | 3,5                           | 0,86           | 30                           | 3,6                           | 1,15           |
| <i>5-й этаж, эксперимент № 2</i> |                               |                |                              |                               |                |                              |                               |                |
| 69                               |                               |                | 100                          |                               |                | 169                          |                               |                |
| 42                               | 1,4                           | 1,15           | 30                           | 3,8                           | 0,86           | 44                           | 3,3                           | 1,15           |
| <i>5-й этаж, эксперимент № 3</i> |                               |                |                              |                               |                |                              |                               |                |
| 65                               |                               |                | 50                           |                               |                | 115                          |                               |                |
| 39                               | 1,45                          | 1,15           | 21                           | 2,7                           | 0,86           | 34                           | 2,9                           | 1,15           |
| <i>5-й этаж, эксперимент № 4</i> |                               |                |                              |                               |                |                              |                               |                |
| 65                               |                               |                | 45                           |                               |                | 110                          |                               |                |
| 45                               | 1,25                          | 1,15           | 29                           | 1,8                           | 0,86           | 44                           | 2,1                           | 1,15           |
| <i>6-й этаж, эксперимент № 1</i> |                               |                |                              |                               |                |                              |                               |                |
| 45                               |                               |                | 60                           |                               |                | 105                          |                               |                |
| 38                               | 1                             | 1,15           | 18,7                         | 3,7                           | 0,86           | 45                           | 2                             | 1,15           |
| <i>6-й этаж, эксперимент № 2</i> |                               |                |                              |                               |                |                              |                               |                |
| 80                               |                               |                | 104                          |                               |                | 184                          |                               |                |
| 47                               | 1,5                           | 1,15           | 32                           | 3,8                           | 0,86           | 60                           | 2,6                           | 1,15           |
| <i>6-й этаж, эксперимент № 3</i> |                               |                |                              |                               |                |                              |                               |                |
| 30                               |                               |                | 100                          |                               |                | 130                          |                               |                |
| 40                               | 0,65                          | 1,15           | 18                           | 6,4                           | 0,86           | 67                           | 1,68                          | 1,15           |
| <i>6-й этаж, эксперимент № 4</i> |                               |                |                              |                               |                |                              |                               |                |
| 68                               |                               |                | 73                           |                               |                | 141                          |                               |                |
| 46,7                             | 1,3                           | 1,15           | 25,4                         | 3,3                           | 0,86           | 56                           | 2,2                           | 1,15           |

циент вливания, который представляет собой по сути долю участия, может быть определен в соответствии с данными, полученными в настоящем исследовании. Например, для эксперимента № 1 на 6-м этаже доля участия потока, спускающегося с верхнего этажа, в общем потоке составит:

$$\begin{aligned} \frac{N_a}{N_a + N_b} &= \frac{P_{л.кл1}}{P_{л.кл1} + P_{дв.пр}} = \\ &= \frac{V_{л.кл1} D_{л.кл1} b_{л.кл1}}{V_{л.кл1} D_{л.кл1} b_{л.кл1} + V_{дв.пр} D_{дв.пр} b_{дв.пр}} = \\ &= \frac{38 \cdot 1 \cdot 1,15}{38 \cdot 1 \cdot 1,15 + 18,7 \cdot 3,7 \cdot 0,86} = 0,42. \end{aligned}$$

В ходе данного натурного наблюдения рассматривались также доли участия потоков в моменты слияния на лестничной площадке при их плотности 3,6 чел./м<sup>2</sup> и более. Образование таких плотностей вызывает торможение движения потока из-за которой его задержки при переходе с площадки на

**Таблица 5.** Доля участия потока до и после слияния на лестничной площадке в моменты повышенной плотности

| Номер эксперимента | Доля участия в общем потоке, % |                               |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                    | до слияния $\gamma_{д/сл}$     | после слияния $\gamma_{п/сл}$ |
| <i>5-й этаж</i>    |                                |                               |
| 1                  | 38,4                           | 39,5                          |
| 2                  | 35,3                           | 51,1                          |
| 3                  | 37,0                           | 40,0                          |
| 4                  | 25,9                           | 31,0                          |
| <i>6-й этаж</i>    |                                |                               |
| 1                  | 56,3                           | 58,1                          |
| 2                  | 47,9                           | 42,9                          |

нижерасположенный марш. В табл. 5 приведена доля участия потока, выходящего на лестничную площадку через дверной проем.

Данные табл. 5 указывают на увеличение влияния выходящего потока в сравнении с входящим, что объясняется тем, что первоначально выходящий поток был больше, чем входящий, но в момент приостановки движения их величина стала выравниваться. Это видно в экспериментах № 1 и 3 на 5-м этаже и в экспериментах № 1 и 2 на 6-м этаже. Поскольку интенсивности движения сливающихся потоков в ситуации начала образования скопления людей становятся равными [9, 10], доля участия  $\gamma$  людских потоков, движущихся с различных этажей, при слиянии на лестничной площадке при их повышенной плотности может быть определена по формуле

$$\gamma = b_{1n} / \sum b_n, \quad (18)$$

где  $b_{1n}$  — ширина участка пути перед местом, где происходит приостановка движения, равная ширине участка пути движения общего (слившегося) потока;

$\sum b_n$  — суммарная ширина участков пути перед местом, где происходит приостановка движения.

Проверим теперь достоверность формулы (18) для случая слияния людского потока на лестничной площадке. В момент слияния доля участия потока при условии, что ширина двери с этажа  $b_{1n} = 0,9$  м, а ширина лестничного марша  $b_n = 1,15$  м, суммарно для всех экспериментов составит 0,439 (или 43,9 %). По данным эксперимента для дверного проема  $\gamma = 0,438$ , для лестничного марша  $\gamma = 1 - 0,438 = 0,562$ , т. е. погрешность не превышает 2,28 %. Таким образом, данные, полученные в ходе эксперимента, подтверждают достоверность уравнения, полученного профессором В. М. Предтеченским [9] для высоких плотностей потоков на лестнице.

При слиянии людских потоков наблюдается ряд выраженных особенностей этического поведения

людей, например “джентльменство”, когда мужчины, спускающиеся по лестнице с верхнего этажа, выходят на лестничную площадку и приостанавливаются, пропуская женщин, выходящих с этажа. Данные особенности носят индивидуальный характер, поэтому выявить какую-либо функциональную зависимость не представляется возможным. Так, при повышении интенсивности или изменении эмоционального состояния эта особенность может нивелироваться, а может привести и к обратному эффекту: женщины приостанавливаются при виде эмоционально настроенных мужчин и пропускают их вперед, особенно если мужчины в повышенном эмоциональном состоянии выбивают дверь во время выхода с этажа.

Подобные особенности движения указывают на имеющиеся различия в параметрах движения людей, отличающихся по половой принадлежности. Поэтому был проведен анализ скоростей свободного движения по горизонтальному пути (лестничной площадке) и лестничному маршруту для мужчин и женщин с целью выявления таких различий.

Скорость свободного движения  $V_0$  по горизонтальному пути (лестничная площадка) и лестничному маршруту для мужчин и женщин представлена в табл. 6.

Как показывают данные табл. 6, при свободном движении (площадь участка, приходящаяся на 1 чел., 2,5–2 м<sup>2</sup>) мужчины, особенно молодого возраста, имеют значительные физические преимущества перед женщинами, поэтому двигаются с более высокой скоростью. При увеличении плотности потока и соответствующем свободном поточном движении (около 1,5–1 м<sup>2</sup> на 1 чел.) это преимущество мужчин проявляется в их более активном маневрировании — обгоне идущих впереди них людей. При дальнейшем увеличении плотности потока скорости движения мужчин и женщин выравниваются, разброс (дисперсия  $\sigma$ ) индивидуальных значений скоростей движения людей в потоке уменьшается; по мере роста плотности скорости движения потока все в большей и большей степени стремятся к устанавливаемому среднему значению. В реальных чрезвычайных ситуациях более высокие физические возможности движения молодых людей определяют во многих случаях их поведение при эвакуа-

ции в лестничных клетках высотных зданий, которое нарушает установившийся общий ритм движения людей. Такое поведение адекватно ситуации, поэтому является не свидетельством паники, а проявлением социальных качеств личности.

### Влияние плотности движения людского потока на расчетную длину пути при движении по лестничной площадке и лестничному маршруту

Исследования поведения людей при движении по лестнице при помощи современной кинофотоаппаратуры, проведенные в ходе экспериментов, позволяют подробно проанализировать изменения эргономики движения людей, вызываемые повышением плотности потоков и вариациями эмоционально-психологического состояния их участников.

Определение расчетной длины пути при движении людского потока по лестничной площадке и лестничному маршруту является неотъемлемой частью расчета параметров эвакуации и обоснования объемно-планировочных решений лестничной клетки высотного здания.

Очевидно, что выбор расчетной длины участка может значительно изменить время эвакуации, так как увеличение расчетной длины пути на 10 % приведет и к росту времени движения также на 10 %. Поскольку длина пути в лестничной клетке высотного здания может достигать 1 км, то неправильная оценка длины пути может повлечь за собой трагические последствия (из-за некорректно определенного времени эвакуации людей).

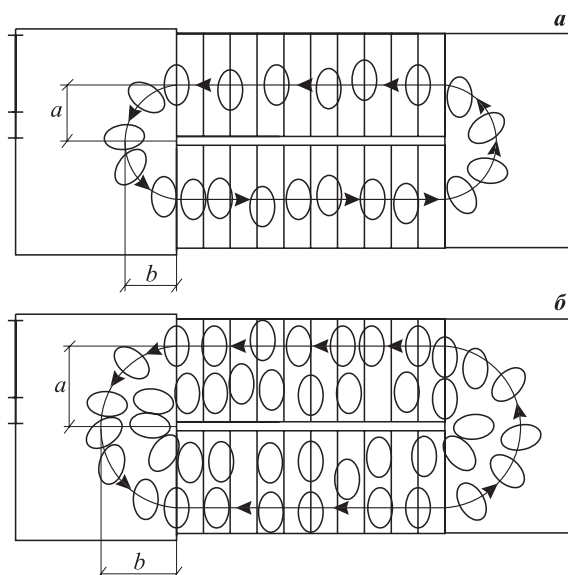
Длина пути движения людского потока по лестничной площадке определялась в двух режимах проведения эксперимента: при плотности потока менее 2,5 чел./м<sup>2</sup> и при повышенной плотности (более 2,5 чел./м<sup>2</sup>).

При плотности менее 2,5 чел./м<sup>2</sup> на лестничной площадке и лестничном маршруте люди двигаются в один ряд (рис. 10, а). Так, при спуске по лестничному маршруту люди опираются или держатся за поручень с одной стороны, что позволяет безопасно повысить скорость и уменьшить риск получения травмы. Во время движения на промежуточном этапе (по лестничной площадке) большая часть людей, переходя на следующий лестничный маршрут, огибает поручень по внешнему радиусу, а другая часть, двигаясь по лестничной площадке, продолжает держаться за поручень, что позволяет маневрировать на высокой скорости и поворачивать по дуге меньшего радиуса.

Вторым (более сложным) случаем является режим движения людей по лестничной площадке потоком плотностью более 2,5 чел./м<sup>2</sup>. При этом режиме люди, спускающиеся по лестничному маршруту,

**Таблица 6.** Скорость свободного движения мужчин и женщин по разным видам пути

| Пол     | Средняя скорость свободного движения $V_0$ , м/мин |                                               |
|---------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|         | по лестничному маршруту                            | по горизонтальному пути (лестничная площадка) |
| Мужчины | 129                                                | 94                                            |
| Женщины | 98                                                 | 78                                            |



**Рис. 10.** Траектория движения людского потока при плотности менее 2,5 чел./м<sup>2</sup> (а) и более 2,5 чел./м<sup>2</sup> (б)

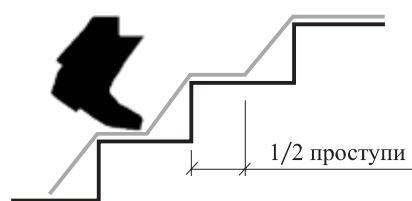
идут в два ряда и занимают левый и правый ряды (рис. 10,б). При этом, как правило, на одной ступени находятся не более 2 человек, которые придерживаются за поручень перил по обе стороны лестничного марша. Спускаясь с лестничного марша, людской поток в два ряда выходит на лестничную площадку. В результате на лестничной площадке люди продолжают идти в два ряда: первый — по внутреннему радиусу (в непосредственной близости от перил), второй — по внешнему радиусу (огibtает первый ряд людского потока). Длина дуги с учетом исходного положения людей будет определяться по тем же формулам, но значения будут другие:  $a$  — расстояние от центра перил до оси человека, движущегося по внешнему радиусу;  $b$  — расстояние от центра перил до оси человека, движущегося по внешнему радиусу на лестничной площадке.

Применим полученные формулы для определения длины пути на лестничных площадках с другими геометрическими размерами. Рассмотрим площадки с шириной лестничного марша  $\delta$ , равной 1,2 и 1,35 м. Полученные результаты представлены в табл. 7.

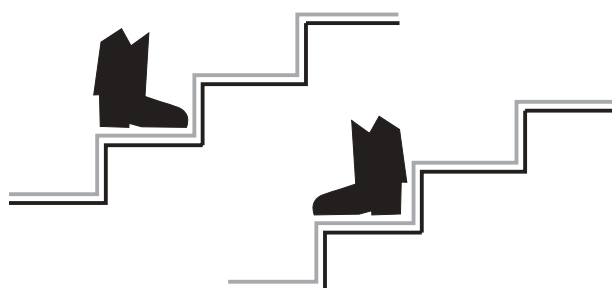
Длина пути движения по лестничному маршу также подвержена изменению в зависимости от плотности потока. При плотности менее 2,5 чел./м<sup>2</sup> человек, двигаясь по лестничному маршу, наступает не на всю проступь, а только на ее половину (рис. 12).

**Таблица 7.** Длина пути по лестничной площадке при разной плотности потока

| Ширина марша лестницы, м | Длина пути, м, при плотности, чел./м <sup>2</sup> |                        |
|--------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|
|                          | менее 2,5                                         | более 2,5              |
| 1,2                      | $0,5\pi\delta = 1,9$                              | $0,75\pi\delta = 2,8$  |
| 1,35                     | $0,5\pi\delta = 2,1$ м                            | $0,75\pi\delta = 3,14$ |



**Рис. 11.** Траектория движения человека (—) по лестничному маршу вверх при плотности менее 2,5 чел./м<sup>2</sup>



**Рис. 12.** Траектория движения человека по лестничному маршу вверх и вниз при плотности более 2,5 чел./м<sup>2</sup>

В этом случае траектория перемещения его ног близка к гипотенузе треугольника, образованного подступенком и проступью ступени (и соответственно высотой подъема марша и его горизонтальной проекцией). Вдоль гипотенузы этого треугольника наблюдается перемещение тела человека и определяется длина участка пути движения людского потока по лестничному маршу  $L$ .

При плотности потока более 2,5 чел./м<sup>2</sup> человек вынужден наступать на проступь полностью, причем обеими ногами. В этом случае траектория движения совпадает с контуром лестничного марша (рис. 12). В общем виде формулу для определения длины траектории перемещения ног человека при плотности потока более 2,5 чел./м<sup>2</sup> можно записать в виде

$$L = L' + 0,5H. \quad (19)$$

Рассмотрим изменение длины траектории при различных уклонах лестницы и формулы для их определения (табл. 8).

Очевидно, что в этом случае и действительная длина перемещения человека совпадает с траекторией его перемещений. Но поскольку длину его пути и время движения продолжают измерять вдоль уклона марша, то влияние происходящих изменений эргономики движения по лестничному

**Таблица 8.** Длина траектории движения потока по лестничному маршу в зависимости от уклона лестницы

| Уклон лестницы | Длина траектории, м, при плотности, чел./м <sup>2</sup>                 |                    |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|                | менее 3,6                                                               | более 3,6          |
| 1:2            | $\frac{L'}{\cos \alpha} = \frac{0,5H}{\sin \alpha} = 1,12L' \quad (20)$ | $1,5L' \quad (22)$ |
| 1:1,5          | $\frac{L'}{\cos \alpha} = \frac{0,5H}{\sin \alpha} = 1,2L' \quad (21)$  | $1,7L' \quad (23)$ |

**Таблица 9.** Формулы для определения длины пути движения потока по лестнице для одного этажа

| Уклон<br>лестницы | Длина траектории, м, при плотности, чел./м <sup>2</sup> |                                      |
|-------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|                   | менее 2,5                                               | более 2,5                            |
| 1:2               | $\pi \delta + H/\sin \alpha$ (24)                       | $1,5\pi \delta + H/\sin \alpha$ (26) |
| 1:1,5             | $\pi \delta + H/\sin \alpha$ (25)                       | $1,5\pi \delta + H/\sin \alpha$ (27) |

маршу учитываются, так сказать, опосредованно, через соответствующие изменения значений  $a_j$  и  $D_{0j}$ , определяющих величину  $V_{Dj}$ .

Учет же действительной длины пути по лестничным площадкам лестничной клетки требует корректировки правил ее установления в соответствии с наблюдаемой в экспериментах траекторией движения по ней людей при максимальных плотностях образующихся потоков. Формулы для определения длины пути по лестницам с различным уклоном представлены в табл. 9.

Сравним формулы (24)–(27) с формулой, по которой определяется длина пути в методике [14], согласно которой, “не допуская серьезной погрешности, длину пути по двухмаршевой лестнице можно принимать равной его утроенной высоте  $H$ , т. е.  $L = 3H$ ”. Так, для здания с высотой этажа 3 м, уклоном лестницы 1:2 и шириной марша лестницы 1,2 м действительная длина пути по лестнице при  $D > 2,5$  чел./м<sup>2</sup> в соответствии с формулой (27) составит:  $L = 1,5 \cdot 3,14 \cdot 1,2 + 3/0,5 = 11,4$  м, а по методике [14]  $L = 3 \cdot 3 = 9$  м, что отличается от действительной длины пути на 21 %.

Полученные в экспериментах данные свидетельствуют о необходимости корректировки методики [14] для уточнения расчетной длины пути. Итак, “не допуская серьезных погрешностей”, действительную длину пути следует принимать равной  $3,8H$ .

### Выводы

1. Впервые при проведении натурных наблюдений и исследований движения людей лестничная клетка рассмотрена как совокупность элементов: лестничного марша, лестничной площадки, дверного проема выхода с этажа на лестничную площадку. Проведенные натурные наблюдения позволили получить 2171 эмпирическое значение скорости движения людского потока во всех диапазонах плотности по перечисленным видам пути. Для этого пришлось просмотреть около 600 тыс. кадров видеосъемки.

2. Исследования показали инвариантность установленной связи между параметрами людских потоков в виде

$$V_{Dj} = V_{0j} (1 - a_j \ln D_i / D_{0j})$$

и позволили впервые определить значения  $a_j$ ,  $D_{0j}$ ,  $V_{0j}$  для установления зависимости скорости движе-

ния людских потоков от их плотности при движении по горизонтальному пути (лестничной площадке), лестничному маршу и через дверной проем в лестничных клетках многоэтажных зданий. Оценка тесноты установленной корреляционной связи между плотностью и скоростью потока характеризует ее как функциональную.

3. Установлены интервалы случайной величины скорости свободного движения для категорий движения при различном эмоциональном состоянии людей в потоке. Так, выделяются интервалы, которые относятся к спокойному движению ( $V_0 < 72$  м/мин), активному ( $72$  м/мин  $< V_0 < 90$  м/мин) и движению повышенной активности ( $V_0 > 90$  м/мин).

4. Количественные выражения установленных закономерностей изменения параметров движения людских потоков позволяют определить соотношение между шириной выхода с этажа  $\delta_0$  и шириной лестничного марша  $\delta_n$ , исключающее образование скоплений людей при их выходе в лестничную клетку:

$$\delta_0 / \delta_n = \max q_n / \max q_0 = 0,83.$$

5. Анализ закономерности слияния людских потоков в лестничной клетке подтвердил выдвинутое ранее предположение о том, что изменение плотности и скорости оказывает ключевое влияние на величину формируемого людского потока. Скорость, плотность и ширина участка сливающихся потоков формируют общий поток с параметрами, суммарно соответствующими двум сливающимся потокам.

6. Установлено, что “доля участия” зависит от параметров движения потоков ( $V_i$ ,  $D_i$ ,  $b_i$ ), участвующих в слиянии, а при плотности выше значения  $D$ , при котором достигается  $q_{\max}$ , доля участия зависит только от соотношения ширин входящих потоков:

$$\gamma = b_{1n} / \sum b_n.$$

7. Проведен анализ скоростей свободного движения в потоке мужчин и женщин. Эти данные дают возможность учитывать различие скоростей свободного движения людей (в интервале  $D = 0 \dots 1$  чел./м<sup>2</sup>), когда требуется дифференцировать состав потока по половому признаку.

8. Исходя из проведенных натурных наблюдений определена расчетная длина пути по лестничной площадке при различных значениях плотности: до 2,5 и свыше 2,5 чел./м<sup>2</sup>. Так, при плотности свыше 2,5 чел./м<sup>2</sup> длина пути по лестничной площадке больше расчетной более чем на 20 % [14]. Длину пути по лестнице следует определять по формуле  $3,8H$ .

9. Экспериментально установлено, что эффективная ширина участка пути людского потока по лестничному маршу соответствует его ширине, при этом ограждения в виде поручней не уменьшают расчетную ширину пути.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO/TR 16738. Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behavior and movement of people. — 2009.
2. Холицевников В. В. Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания: дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. В. М. Предтеченский). — М. : МИСИ, 1969.
3. Холицевников В. В. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. — М. : ИПБ, МИСИ, 1999.
4. Boyce K. E., Purser D., Shields T. J. Experimental studies to investigate merging behaviour in a staircase // Proceedings of Proceedings 4th International Human Behaviour in Fire Symposium, Robinson College, Cambridge, UK, 13–15 July 2009, Interscience Communications (London). — P. 111–122.
5. Lizhong Yang, Ping Rao, Kongjin Zhu, Shaobo Liu, Xin Zhan. Observation study of pedestrian flow on staircases with different dimensions under normal and emergency conditions // Fire Safety Science. — 2012. — Vol. 50. — Issue 2.
6. Hokugo Akihino. Observation study of people evacuation from buildings in fire : Ph. D. diss. — Kobe University, Japan, 1985.
7. Холицевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И. И. Натурные наблюдения людских потоков. — М. : АГПС МЧС России, 2009.
8. Дутов В. К., Чурсин И. Г. Психофизиологические и гигиенические аспекты деятельности человека при пожаре. — М. : Защита, 1992.
9. Предтеченский В. М. О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения // Известия вузов. Строительство и архитектура. — 1958. — № 7.
10. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. — М. : Стройиздат, 1969; Berlin, 1971; Koln, 1971; Praha, 1972; U. S., New Delhi, 1978. — Изд. 2-е. — М. : Стройиздат, 1979.
11. Милинский А. И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1951.
12. Копылов В. А. Исследование параметров движения людей при вынужденной эвакуации : дис. ... канд. техн. наук. (науч. рук. В. М. Предтеченский, М. Я. Ройтман). — М. : МИСИ, 1974.
13. Холицевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МИСИ, 1983.
14. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382; введ. 30.06.2009 г. // Российская газета. — 2009. — № 161; ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
15. Руководство пользователя. Ситис: Флоутек 2.60. — Екатеринбург, 2012. — 174 с.
16. Pauls J. L. Building evacuation: Research findings and recommendations // Fires and Human Behaviour. Ed. D. Canter. — 1<sup>st</sup> edition. — Wiley, 1980.
17. Холицевников В. В. Влияние методов натурных наблюдений на определение числовых характеристик закона распределения расчетной величины скорости людского потока // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 8. — С. 71–80.
18. Закономерность связи между параметрами людских потоков : диплом № 24S: Открытие в области социальной психологии // Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международное агентство авторов научных открытий, 2004.
19. Gumbel E. I. Statistical theory of extreme values and some practical applications. — Washington, 1954.
20. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятности и математической статистики для технических приложений. — М., 1969. — 512 с.
21. Волгин Л. Н. Принцип согласованного оптимума. — М. : Советское радио, 1977.
22. СНиП II-2–80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений : постановление Госстроя СССР от 18.12.80 г. № 196; введ. 01.01.82 г. — М. : Стройиздат, 1981.
23. ГОСТ 12.1.004–91\*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — Введ. 01.07.92 г. — М. : Изд-во стандартов, 1991; ИПК Изд-во стандартов, 2002.

Материал поступил в редакцию 28 июня 2013 г.

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF A HUMAN FLOW ON THE STAIRS IN THE MULTISTORY BUILDINGS

**KHOLSHCHEVNIKOV V. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation), Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: reglament2004@mail.ru)

**KUDRIN I. S.**, Researcher of Department of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: ivankudrin@yahoo.com)

### ABSTRACT

When determining calculation evacuation time from high-rise buildings an evacuation in a stairwell is the most difficult stage. The problems with assessment of movement of people on the stairs are connected with unfavorable conditions because of a formation of crowdedness and length of evacuation routes. The analyze of foreign and russian studies has been shown the necessity of the data for determining the participation portion of each flow during merging on a landing, establishing the relation between the movement velocity and the density of human flows, determining the route length when human flow is moving in the flights of stairs and on a landing. The following data was obtained as a result of carried out observations.

1. It is established that the merging of the human flows on the landing in the staircase and on the horizontal route is determined by common formula:

$$q_{n+1} = \sum q_n \delta_n / \delta_{n+1},$$

where  $\delta_n$  and  $q_n$  — the width of the routes in front of the border their merging and appropriate intensity of the human flows;  $\delta_{n+1}$  — the width of the common route which the merging of the human flows into common flow occurs on the border, the intensity of the common flow  $q_{n+1}$ .

2. The values  $V_0$ ,  $a_j$  and  $D_{0j}$  (table 1) are determined for the early established relation:

$$\bar{V}_{Dj}^E = \bar{V}_{0j}^E [1 - a_j \ln(D_i / D_{0j})].$$

**Table 1.** Values  $V_0$ ,  $a_j$ ,  $D_{0j}$  when people are moving in the staircase

| Type of the route | $a_j$ | $D_{0j}$ , pers./m <sup>2</sup> | $V_0$ , m/min |
|-------------------|-------|---------------------------------|---------------|
| Stair downwards   | 0,353 | 0,583                           | 106,3         |
| Door aperture     | 0,308 | 0,533                           | 106,3         |
| Landing           | 0,371 | 0,723                           | 106,3         |

3. It is established that the route length in the buildings with floor height  $H$  is determined according to the changing density of a human flow (table 2).

**Table 2.** The calculation distance along the stair (two- and three-flight)

| Slope of stairs                 | Width of the tread area, m | Distance along, m, for density of a human flow |                                   |
|---------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                 |                            | $D < 2,5$ pers./m <sup>2</sup>                 | $D \geq 2,5$ pers./m <sup>2</sup> |
| Two-flight stair                |                            |                                                |                                   |
| 1:2 ( $\alpha = 26,6^\circ$ )   | 1,2                        | $3,8 + 2,2H$                                   | $5,7 + 2,2H$                      |
|                                 | 1,35                       | $4,2 + 2,2H$                                   | $6,4 + 2,2H$                      |
| 1:1,5 ( $\alpha = 33,7^\circ$ ) | 1,2                        | $3,8 + 1,8H$                                   | $5,7 + 1,8H$                      |
|                                 | 1,35                       | $4,2 + 1,8H$                                   | $6,4 + 1,8H$                      |
| Three-flight stair              |                            |                                                |                                   |
| 1:2 ( $\alpha = 26,6^\circ$ )   | 1,2                        | $3,8 + 2,9H$                                   | $5,7 + 2,9H$                      |
|                                 | 1,35                       | $4,2 + 2,9H$                                   | $6,4 + 2,9H$                      |
| 1:1,5 ( $\alpha = 33,7^\circ$ ) | 1,2                        | $3,8 + 2,3H$                                   | $5,7 + 2,3H$                      |
|                                 | 1,35                       | $4,2 + 2,3H$                                   | $6,4 + 2,3H$                      |

**Keywords:** evacuation along the stair; calculation distance; high-rise buildings; human flow characteristics.

## REFERENCES

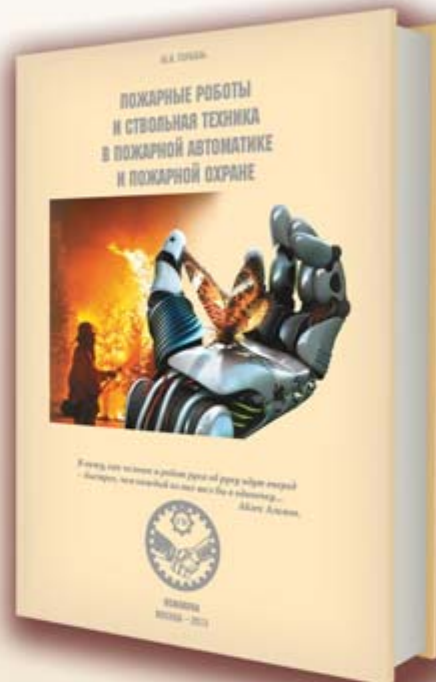
1. ISO/TR 16738. *Fire-safety engineering — Technical information on methods for evaluating behavior and movement of people.* — 2009.
2. Kholshchevnikov V. V. *Optimizatsia putey dvizheniya lyudskikh potokov. Vysotnyye zdaniya. Dis. kand. tekhn. nauk* [The optimization of human flow routes. High-rise buildings. Cand. tech. sci. diss.] Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1969.
3. Kholshchevnikov V. V. *Issledovaniye lyudskikh potokov i metodologiya normirovaniya evakuatsii lyudei iz zdaniy pri pozhare* [The researches of the human flow and the methodology of the evacuation regulation from buildings in fire]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1999.
4. Boyce K. E., Purser D., Shields T. J. Experimental studies to investigate merging behaviour in a staircase. *Proceedings of 4<sup>th</sup> International Human Behaviour in Fire Symposium*, Robinson College, Cambridge, UK, 13–15 July 2009, Interscience Communications (London), pp. 111–122.
5. Lizhong Yang, Ping Rao, Kongjin Zhu, Shaobo Liu, Xin Zhan. Observation study of pedestrian flow on staircases with different dimensions under normal and emergency conditions. *Fire Safety Science*, 2012, vol. 50, issue 2.
6. Hokugo Akihino. *Observation study of people evacuation from buildings in fire. Ph. D. diss.* Kobe University, Japan, 1985.
7. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Isaevich I. I. *Naturnyye nablyudeniya lyudskikh potokov. Uchebnoye posobiye* [Human flow observations. Schoolbook]. Moscow, State Academy of Fire Safety of Russia Publ., 2009. 191 p.
8. Dutov V. K., Chursin I. G. *Psikhofiziologicheskiye i gigienicheskiye aspekty deyatelnosti cheloveka pri pozhare* [The psychological and hygienic aspects of human behavior in fire]. Moscow, Zashchita Publ., 1992.
9. Predtechenskiy V. M. O raschete dvizheniya lyudskikh potokov v zdaniyakh massovogo naznacheniya [About calculation of the human flow movement in the buildings of the mass usage]. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo i arkhitektura — Institution of Higher Education Proceedings. Construction and Architecture*, 1958, no. 7.
10. Predtechenskiy V. M., Milinskiy A. I. *Proektirovaniye zdaniy s uchetom organizatsii dvizheniya lyudskikh potokov* [Planing for foot traffic flow in buildings]. Moscow, Stroyizdat, 1979. 375 p.
11. Milinskiy A. I. *Issledovaniye processa evakuatsii zdaniy massovogo naznacheniya. Dis. kand. tekhn. nauk* [The evacuation process research of the buildings with mass usage. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, MGSU Publ., 1951.
12. Kopylov V. A. *Issledovaniye parametrov dvizheniya ludey pri vynuzhdennoy evakuatsii. Dis. kand. tekhn. nauk* [The studies of parameters of the movement of a human flow in case of emergency. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow Construction Institute Publ., 1974. 145 p.
13. Kholshchevnikov V. V. *Lyudskiye potoki v zdaniyakh, sooruzheniyakh i na territorii ikh kompleksov. Dis. d-ra tekhn. nauk* [Human flows in buildings, structures and on their adjoining territories. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow Construction Institute Publ., 1983.
14. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
15. *Rukovodstvo polzovatelya. SITIS: Floutek 2.60* [User manual. SITIS: Flowteck 2.60]. Yekaterinburg, 2012. 174 p.
16. Pauls J. L. *Building evacuation: Research findings and recommendations. Fires and Human Behaviour.* D. Canter (ed.). 1<sup>st</sup> edition, Wiley, 1980.
17. Kholshchevnikov V. V. Vliyaniye metodov naturnykh nablyudeniya na opredeleniye chislovykh kharakteristik zakona raspredeleniya raschetnoy velichiny skorosti lyudskogo potoka [The effect of field observation methods on determining numeric characteristics of the law of human flow velocity distribution]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 8, pp. 71–80.
18. Kholshchevnikov V. V. *Zakonomernost svyazi mezhdu parametrami lyudskikh potokov. Diplom № 24S: Otkrytiye v oblasti sotsialnoy psikhologii* [Relationship between parameters of human flow. Diplom no. 24-S. Scientific discovery in the area of social psychology]. Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discovery and Inventions, International Agency of Authors of Scientific Discovery, 2004.
19. Gumbel E. I. *Statistical theory of extreme values and some practical applications.* Washington, 1954.
20. Smirnov N. V. *Kurs teorii veroyatnosti i matematicheskoy statistiki dlya tekhnicheskikh prilozheniy* [The probability theory and mathematical statistics course for technical applications]. Moscow, 1969. 512 p.
21. Volgin L. N. *Printsip soglasovannogo optimuma* [The principle of the coordinated optimum]. Moscow, Sovetskoye radio Publ., 1977.
22. *Construction norms and regulations II-2–80. Fire safety codes of buildings and structures design.* Moscow, Stroyizdat, 1981 (in Russian).
23. *Interstate standard 12.1.004–91\*. Occupational safety standards system. Fire safety. General requirements.* Moscow, Izdatelstvo standartov, 1991; Standartinform Publ., 2002 (in Russian).

**Ю. И. ГОРБАНЬ**

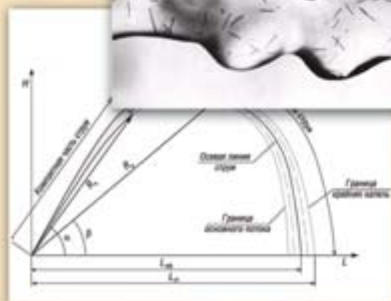
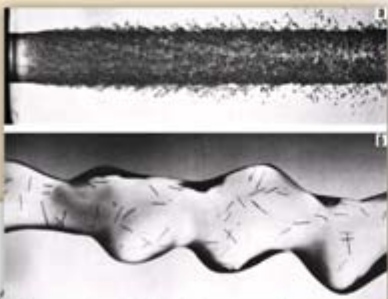
**ПОЖАРНЫЕ РОБОТЫ И СТОЛЬНАЯ ТЕХНИКА  
В ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКЕ И ПОЖАРНОЙ ОХРАНЕ**

М.: Пожнаука, 2013. - 352 с.

- ♦ Для специалистов в области пожарной автоматики и пожарной охраны.
- ♦ В книге представлены новые технологии пожаротушения с применением пожарных роботов, выполненных на базе современной ствольной пожарной техники. Показано, как создавались пожарные роботы в России, как совершенствовалась их конструкция, как они применялись в техногенных катастрофах и как они защищают объекты различного назначения.
- ♦ Рассмотрены основные понятия по гидравлике в пожарном деле и баллистике струй, а также по огнеопасным материалам и огнетушащим веществам, применяемым в ствольной технике.
- ♦ Дана подробная информация по применению роботизированных установок пожаротушения и пожарных стволов для защиты пожароопасных объектов, включая сведения, необходимые для проектировщиков и конструкторов.



РЕКЛАМА



**СОДЕРЖАНИЕ:**

- Часть 1. От первого пожарного робота до Завода пожарных роботов
- Часть 2. Гидравлика в пожарном деле
- Часть 3. Баллистика струй
- Часть 4. «Jet Fog» - летающие и распыленные огнетушащие вещества
- Часть 5. Пожароопасность и пожаробезопасность в расчетах пожарной автоматики
- Часть 6. Ручные пожарные стволы
- Часть 7. Пожарные лафетные стволы
- Часть 8. Пожарная робототехника
- Часть 9. Защита объектов лафетными стволами
- Часть 10. Защита объектов с применением роботизированных пожарных комплексов

**ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ КНИГИ ОБРАЩАЙТЕСЬ:**

**ЗАО „Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”**

185031, г. Петрозаводск, ул.Заводская, д. 4

Тел./факс: (8142) 57-11-27, 77-49-23

e-mail: [office@firerobots.ru](mailto:office@firerobots.ru), <http://www.firerobots.ru>

**Представительство ЗАО „Инженерный центр „ЭФЭР” в г. Москве:**

143956, Московская обл., г. Балашиха, мкр. Никольско-Архангельский,

Разинское ш., д. 5, бизнес-центр “Вешняки”, офис 204

Т./ф.: +7(498) 665-75-35, моб.т. +7(916) 652-70-78

**ООО „Издательство „Пожнаука”**

Тел: (495) 228-09-03

e-mail: [mail@firepress.ru](mailto:mail@firepress.ru), <http://www.firepress.ru>

ISSE

INTEGRATED SAFETY &amp; SECURITY EXHIBITION

КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

VII международный салон

# КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2014

Москва,  
Всероссийский выставочный центр,  
павильоны № 75 и № 69

## 20 - 23 мая

### Тематические разделы



Пожарная  
безопасность



Защита  
и оборона



Информационные  
технологии



Техника  
охраны



Средства  
спасения



Комплексная безопасность  
на транспорте



Безопасность  
границы



Экологическая  
безопасность



Ядерная  
и радиационная безопасность



Медицина  
катастроф



Промышленная  
безопасность

РЕКЛАМА

[WWW.ISSE-RUSSIA.RU](http://WWW.ISSE-RUSSIA.RU)

**В. Ю. ШИМКО**, генеральный директор ООО “СпецПожТех”  
(Россия, 127051, г. Москва, Малый Сухаревский пер., 9, стр. 1; e-mail: spth@mail.ru)

УДК 614.842.618

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОПЛЕНОЧНЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ ПРОЛИВОВ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Представлены результаты исследований принципиально нового типа теплозащитных экранов, предназначенных для использования в качестве противопожарных преград с целью ослабления мощного теплового излучения при горении проливов сжиженного природного газа.

**Ключевые слова:** сжиженный природный газ; теплозащитный экран; водяная пленка; тепловой поток; парогазовое облако.

Современные мировые тенденции характеризуются увеличением масштабов и расширением области использования природного газа. Этот процесс, охвативший в настоящее время все передовые промышленные страны, обусловлен прежде всего технологическими достоинствами природного газа, рациональное использование которого позволяет получить значительный экономический эффект.

Сегодня мы находимся на рубеже резкого повышения интереса к сжиженному природному газу (СПГ) как к “мобильному” энергоносителю, обладающему всеми экологическими и экономическими преимуществами. В соответствии с инвестиционными предложениями ОАО “Газпром” разработаны следующие схемы использования СПГ:

- газификация 362 муниципальных образований;
- применение в качестве резервного топлива на промышленных предприятиях 15 регионов;
- перевод автотранспорта на газомоторное топливо для 68 регионов.

Однако, наряду с преимуществами использования СПГ, процессы его производства, хранения и применения связаны с чрезвычайно высокой опасностью пожара и взрыва при аварийных ситуациях.

Одной из серьезных проблем при обеспечении пожарной безопасности объектов производства и применения СПГ является высокое тепловое излучение, возникающее при горении природного газа. В частности, среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени СПГ может достигать  $220 \text{ кВт/м}^2$  [1], что в 5,5 раза выше, чем у дизельного топлива, и примерно в 3 раза — чем у пропан-бутана.

Для защиты от теплового излучения могут использоваться следующие технические решения:

- защитные водяные завесы, создаваемые с помощью веерных распылителей;

- стационарные ограждения специальной конфигурации и достаточной высоты;
- конструктивная стационарная огнезащита технологического оборудования.

Защитные водяные завесы, создаваемые с помощью веерных распылителей, обеспечивают снижение плотности тепловых радиационных потоков в 3–4 раза. Однако создание длительно действующей водяной завесы требует большого расхода воды, что создает серьезные проблемы при их применении, особенно в регионах с холодным климатом.

Создание стационарных ограждений требует существенных материальных затрат. Кроме того, они усложняют прокладку коммуникационных и транспортных линий на объекте.

Конструктивная стационарная огнезащита технологического оборудования от теплового излучения пламени СПГ, среднеповерхностная плотность которого может достигать  $220 \text{ кВт/м}^2$ , является сложным и дорогостоящим техническим решением. Причем оптимальный состав и структура такой огнезащиты определяются путем моделирования процессов тепломассопереноса в композиционной огнезащите и на защищаемом объекте с учетом влияния нагрева и термического разложения, влагопереноса и сопровождающих его тепловых эффектов испарения-конденсации влаги в системе *композиционная огнезащита – защищаемый объект*, а также лучистого и конвективного переноса теплоты через слои этой системы.

### Теплозащитный водопленочный экран

В настоящей статье для защиты от теплового излучения пламени СПГ предлагается инновационная технология ослабления тепловых потоков [2], реализуемая с помощью ограждающей конструк-

ции специального вида — теплозащитного водопленочного экрана.

Принципиальная схема экрана представляет собой две поверхности из металлических сеток с заданными параметрами (размер ячейки, вид металла, диаметр проволоки сетки и т. д.), между которыми имеется зазор. Ослабление теплового потока обеспечивается распылением воды с помощью специальных форсунок, расположенных в межсеточном пространстве, из расчета 0,06–0,10 л воды на 1 м<sup>2</sup> экрана.

Система водообеспечения состоит из фильтров для очистки воды и проложенного в межсеточном пространстве медного трубопровода с укрепленными на нем форсунками. При подаче воды на сетки на них образуется водяная пленка, а в межсеточном пространстве — водо-, паро- и капельно-воздушная среда. Этот многофазный комплекс частично поглощает, частично отражает электромагнитные волны преимущественно ИК-диапазона и препятствует прохождению газов. Следует отметить, что в зимних условиях подачу воды, очевидно, следует производить только при пожаре, когда на экран воздействует мощный тепловой поток.

Ослабление теплового потока достигается за счет как теплофизических эффектов, так и оптических явлений.

Теплофизические эффекты обеспечиваются в основном поглощением тепловой энергии водой, которая непрерывно поступает на металлические поверхности экрана и аккумулируется на них.

Оптические явления обуславливаются особенностями взаимодействия теплового потока, представляющего собой электромагнитное излучение пламени пожара, с мелкодисперсными каплями воды в межсеточном пространстве и пленками воды на самих сетках. Следует отметить, что теоретические и экспериментальные исследования [3] позволили доказать, что основной вклад в ослабление теплового потока в нашем случае вносит рассеяние ИК-излучения на пленках воды, образующихся на сеточных поверхностях экрана, за счет их неоднородности. В зависимости от величины зазора между сеточными поверхностями, расходом воды на форсунках и параметрами сеток способность экрана ослаблять тепловой поток возрастает скачкообразно в момент образования на сетках пленок воды.

Экспериментальные исследования [3], проведенные с использованием различных источников теплового излучения (промышленная печь, горящий штабель дров, горючие жидкости) с плотностью потока от 25 до 65 кВт/м<sup>2</sup> и при температуре пламени до 1200 °С, показали, что во всех опытах достигалось ослабление теплового потока экраном не менее чем в 50 раз.



Рис. 1. Огневые испытания теплозащитного экрана

На рис. 1 дана иллюстрация одного из огневых испытаний теплозащитных экранов.

Успешные испытания теплозащитных экранов дали основание предположить, что они могут эффективно ослаблять и значительно более мощные тепловые потоки горящего СПГ — со среднесплошной плотностью до 220 кВт/м<sup>2</sup> при температуре пламени до 1800 °С [4].

Способность экранов эффективно ослаблять мощные тепловые потоки горящего СПГ была исследована в серии крупномасштабных экспериментов, которые проводились на территории испытательного полигона Оренбургского филиала ФГБУ ВНИИПО МЧС РФ в 2011 г.

### Проведение эксперимента

Для проведения экспериментов был создан стенд с целью исследования теплозащитных экранов в условиях аварийных ситуаций, связанных с горением проливов СПГ. На рис. 2 показан процесс монтажа такого стенда.



Рис. 2. Монтаж стенда для исследования теплозащитных экранов



Рис. 3. Горение пролива СПГ в непосредственной близости от защитного экрана

Цилиндрическая емкость с СПГ диаметром 1 м и высотой 3 м устанавливалась в вертикальном положении в центре бетонного ограждения высотой 1 м, представляющего собой в плане квадрат с длинной стороны 3 м. Четыре экранирующие панели размером 3×4 м монтировались на верхней кромке ограждения, образуя прямоугольный параллелепипед высотой 4 м, внутри которого и находилась защищаемая емкость с СПГ.

Проведение экспериментов на стенде осуществлялось в такой последовательности. Конструкция с теплозащитными экранами устанавливалась на поддон и фиксировалась с помощью элементов крепления. Внутри конструкции размещались термодатчики, датчики тепловых потоков и газовые анализаторы, а вокруг установки — датчики тепловых потоков и газовые анализаторы.

В ходе проведения опыта измеряли температуры и концентрации метана в различных точках —

внутри конструкции из экранирующих панелей и вокруг экранов, плотность тепловых потоков вокруг установки, параметры атмосферы.

Огневые испытания по определению теплозащитной эффективности экранов с целью обеспечения пожаровзрывобезопасности емкости с СПГ при воздействии внешних источников теплового излучения проводились в условиях горения пролива СПГ в непосредственной близости от ограждения в течение 300–650 с. На рис. 3 представлен один из огневых опытов с горением пролива СПГ.

Датчики теплового потока, установленные в непосредственной близости от поверхности защитного экрана с внешней стороны ограждения, где происходило пламенное горение испаряющегося газа, показали, что плотность тепловых потоков, падающих на экранирующие панели ограждения, достигала  $220 \text{ кВт/м}^2$ . При этом датчики тепловых потоков, установленные внутри ограждения на расстоянии 0,3 м от поверхности защитного экрана, показали, что максимальная зафиксированная в серии опытов плотность теплового потока, проникающего внутрь защищаемого объема и воздействующего на емкость с СПГ, равна  $4,8 \text{ кВт/м}^2$ . Удельный расход воды, подаваемой на экраны во время экспериментов, составлял  $0,1 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{с)}$ .

Таким образом, в данной серии экспериментов было установлено, что водопеночные экраны эффективно ослабляют мощные тепловые потоки горящего природного газа: во всех опытах достигалось ослабление теплового потока экраном не менее чем в 40 раз.



Рис. 4. Фрагменты экспериментов с проливом СПГ во внутреннем объеме защитного ограждения: а — через 10 с с момента подачи СПГ; б — то же, через 60 с; в — в момент подачи воды на экран; г — в момент поджига газа внутри ограждения; д — через 5 мин с момента поджига газа; е — в момент прекращения подачи газа

В следующей серии экспериментов СПГ подавался во внутренний объем защитного ограждения. На рис. 4 представлены фрагменты данных экспериментов.

Как видно из рис. 4,а,б, экраны в “нерабочем” состоянии (без подачи воды) являются негерметичными и через 3–5 с испаряющийся газ начинает свободно проникать через нижнюю часть сеточных панелей ограждения и растекаться по поверхности земли.

После подачи воды в систему водоорошения панелей ограждения (см. рис. 4,в) происходила герметизация ограждения водяными пленками, образовавшимися на сеточных поверхностях, что практически исключало проникновение газа и продуктов сгорания сквозь них.

При поджиге газа, испаряющегося во внутреннем объеме защитного ограждения (см. рис. 4,г), происходила вспышка с последующим переходом горения в верхнюю часть ограждения. Датчики, позволяющие замерять изменение температуры во времени в характерных сечениях защитного ограждения, показали, что в нижней части защитного ограждения (0–2 м от уровня земли) нагрева конструкции не происходило, т. е. горение на поверхности пролива СПГ отсутствовало. Наблюдалось горение на высоте более 3,5 м от уровня земли (на расстоянии около 0,5 м от верхнего среза экранов), но и оно прекратилось при увеличении расхода газа, а пламя переместилось на верхний срез защитных экранов (см. рис. 4,д). Максимальная температура на поверхности верхней части резервуара не превышала 240 °С.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что данная конструкция, наряду с газоизолирующим свойством, обладает и способностью предотвращать горение на поверхности пролива за счет прекращения доступа окислителя (воздуха) в зону го-

рения. Таким образом, исключается горение в наиболее опасном месте — под днищем резервуара, в результате чего пламя переносится в район верхнего среза, и при соответствующей высоте экрана защищаемый объект будет находиться вне зоны прямого воздействия пламени.

### Выводы

В штатном режиме работы объем, огороженный экранирующими панелями, свободно продувается сквозь сеточные поверхности, и незначительные малые технологические утечки газа даже при длительной эксплуатации не приводят к скоплению газа внутри ограждения. При возникновении аварийной ситуации на соседнем оборудовании, связанной с выбросом СПГ и образованием пожароопасного облака или горением пролива, панель управления от сигнала соответствующих датчиков подает команду на подачу воды в систему водоорошения экранирующих поверхностей ограждения. На сеточных поверхностях образуется сплошная водяная пленка, при этом обеспечивается очень высокая (более чем в 40 раз) степень ослабления мощных (до 220 кВт/м<sup>2</sup>) тепловых потоков, которые реализуются при горении СПГ. Наряду с защитой от внешних источников теплового излучения, данная конструкция обладает газоизолирующей способностью, что позволяет исключить проникновение газа и продуктов сгорания сквозь экран, а также обеспечить предотвращение горения на поверхности пролива (внутри ограждения) за счет исключения доступа окислителя (воздуха) в зону горения.

Таким образом, экспериментально была подтверждена высокая эффективность применения теплозащитных экранов в качестве ограждений объектов хранения сжиженного природного газа в условиях аварийных ситуаций, связанных с проливами и горением СПГ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 12.3.047–98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 01.01.2000 г. — М.: Изд-во стандартов, 1998.
2. Пат. 2182024 Российская Федерация. МПК А62С2/08. Класс А62С2/08, А62С35/68. Способ ослабления потоков энергии в виде света, тепла и конвективных газовых потоков и устройства к лафетному стволу для создания защитного экрана от потока энергии в виде света, тепла и конвективных газовых потоков / М. Х. Усманов, Н. Н. Брушлинский, Р. А. Аблязис, Ю. У. Касымов, Н. П. Копылов, Н. Б. Лобанов, Ш. Садыков, Е. А. Серебренников, М. Сабиров, А. Д. Худоев. — № 2000105809/12; заявл. 13.03.2000 г.; опубл. 10.05.2002 г.
3. Усманов М. Х. Влияние термического воздействия на ограждающие конструкции: новые методы экспертизы мест пожаров и теплозащиты. — Ташкент: Высшая техническая школа пожарной безопасности МВД РУз, 2008. — 291 с.
4. Термодинамические свойства метана. — М.: Изд-во стандартов, 1979. — 348 с.

Материал поступил в редакцию 26 сентября 2013 г.

# APPLICATION OF WATER-FILM HEAT-REFLECTING SHIELDS FOR PROTECTION AGAINST THERMAL RADIATION ARISING FROM BURNING SPILLS OF LIQUEFIED NATURAL GAS

**SHIMKO V. Yu.**, General Director, JSC SpetsPozhTekh  
(Malyy Sukharevskiy Lane, 9, off. 1, Moscow, 127051, Russian Federation;  
e-mail address: spth@mail.ru)

## ABSTRACT

Modern world tendencies are characterized by increase of a natural gas usage scale. Today we are at the turn of sharp increase of interest to the liquefied natural gas (LNG), as to the “mobile” energy source having all ecological and economic advantages. In accordance with investment offers of “Gazprom” OJSC it were developed the following schemes of use of LNG:

- gasification of 362 municipalities;
- use of LNG as reserve fuel by industrial enterprises in 15 regions;
- change the fuel of motor transport in 68 regions to a gas fuel.

However use of LNG is connected with extremely high danger of fire and explosion in case of emergency situations. One of serious problems of ensuring of fire safety of production objects using LNG is a high thermal radiation arising from burning natural gas. Where density of thermal radiation of LNG flame can reach  $220 \text{ kW/m}^2$ .

As protection against thermal radiation of LNG flame authors offer the innovative technology of weakening of heat flows by means of the special cladding structure — heat-reflecting water-film shield. Ability to weaken the heat flow is provided by dispersion of water by special nozzles in inter-greed space. Weakening of thermal stream is achieved due to the thermophysical effects and optical phenomena.

Ability of shields to effectively weaken the powerful heat flows of burning LNG was investigated in a series of large-scale experimental researches which were conducted on the territory of the proving ground of the Orenburg branch of VNIPO FSBI of Emercom of RF in 2011.

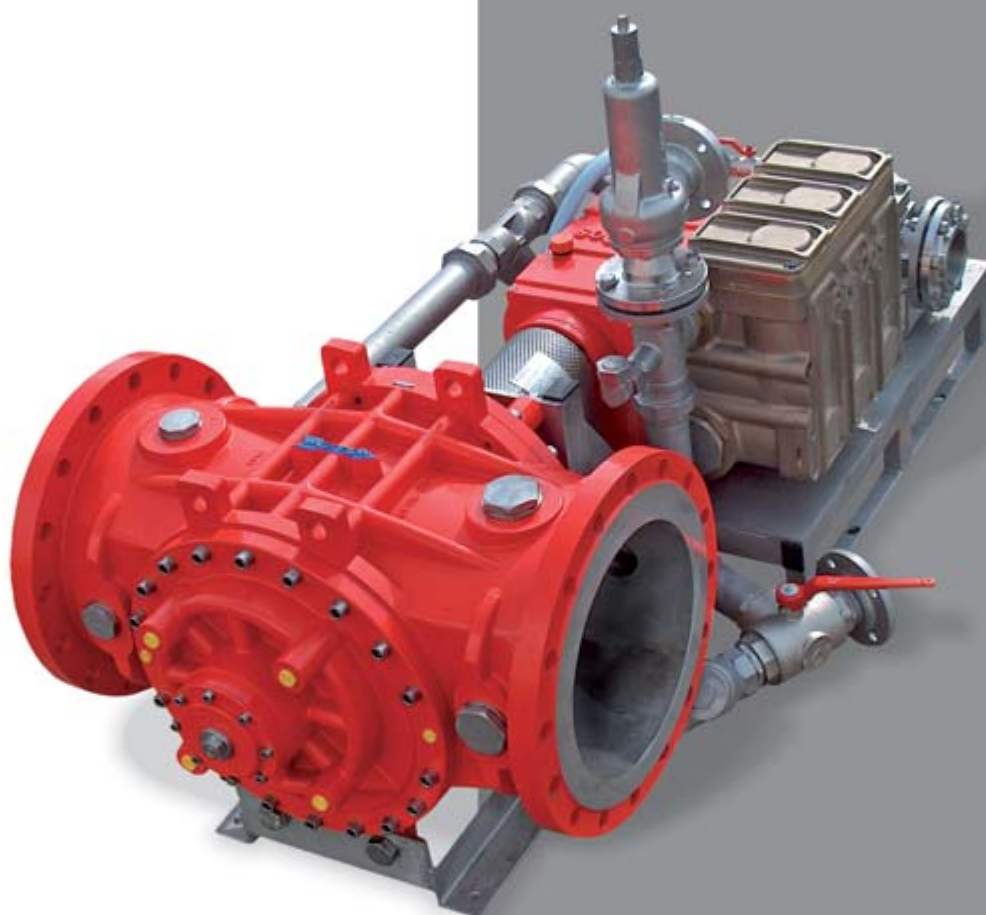
**Keywords:** liquefied natural gas; heat-reflecting shield; water film; heat flow; steam-gas cloud.

## REFERENCES

1. *State standard of the Russian Federation 12.3.047–98. Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control.* Moscow, Izdatelstvo standartov, 1998 (in Russian).
2. Usmanov M. Kh., Brushlinskiy N. N., Ablyazis R. A., Kasymov Yu. U., Kopylov N. P., Lobanov N. B., Sadykov Sh., Serebrennikov Ye. A., Sabirov M., Khudoyev A. D. *Sposob oslableniya potoka energii v vide sveta tepla i konvektivnykh gazovykh potokov i ustroystva k lafetnomu stvolu dlya zashchitnogo ekrana ot potoka energii v vide sveta, tepla i konvektivnykh gazovykh potokov* [The method of attenuation of the thermal heat flux and convective gaseous flows, and it is thermal protective fence against the conversive gaseous flows]. Patent RU, no. 2182024, 2000.
3. Usmanov M. Kh. *Vliyaniye termicheskogo vozdeystviya na ograzhdayushchiye konstruksii: novyye metody ekspertizy mest pozharov i teplozashchity* [Influence of thermal effect on cladding structures: new methods of examination of fire places and heat shielding]. Tashkent, Higher Technical School of Fire Safety of the MIA of RUz Publ., 2008. 291 p.
4. *Termodinamicheskiye svoystva metana* [Thermodynamic properties of methane]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1979. 348 p.



# СИСТЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ



ООО НПК «Гефест» — официальный представитель  
FireDos® GmbH в России  
Россия, 121108, г. Москва,  
ул. Ивана Франко, д. 4, корп. 10  
Тел./факс: (495) 925-51-31  
E-mail: [info@gefestnpk.ru](mailto:info@gefestnpk.ru); [www.gefestnpk.ru](http://www.gefestnpk.ru)

**А. Ф. ШАРОВАРНИКОВ**, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: kafedrapb@yandex.ru)

**Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: kafedrapb@yandex.ru)

УДК 614.841.123.24

## ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ КАПЕЛЬ ВОДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ

Рассматриваются два варианта решения уравнения теплового баланса. В первом просматривается снижение температуры поверхности ГЖ до температуры ниже температуры вспышки горючего, при которой горение прекращается, а во втором анализируется снижение скорости выгорания до пренебрежимо малой величины, при которой паровоздушная смесь становится негорючей.

**Ключевые слова:** процесс тушения; тушение твердых горючих материалов и горючих жидкостей; размер капель воды; испарение в зоне горения; высокодисперсная вода.

В зависимости от размера капель воды процесс тушения сосредотачивается либо в зоне горения, либо на поверхности горящей жидкости. Капли воды размером менее 150 мкм полностью испаряются в зоне горения, понижая ее температуру до критической величины, называемой температурой потухания. Снижение температуры в зоне горения ведет к уменьшению скорости поступления в нее паров горючего.

Поток паров горючего в газовую фазу при температуре поверхности, близкой к кипению, можно определить по формуле Стефана

$$u_m^0 = \frac{D_0}{RT_0} \left( \frac{T_F}{T_0} \right)^m \frac{P_a}{\delta} \ln \left( \frac{P_a - P_1}{P_a - P_s} \right), \quad (1)$$

где  $u_m^0$  — удельная массовая скорость выгорания горючей жидкости (ГЖ) в установившемся режиме горения;

$D_0$  — коэффициент диффузии молекул ГЖ в газовой фазе при нормальной температуре  $T_0$ ;

$R$  — универсальная газовая постоянная;

$T_F$  — температура факела пламени;

$P_a$  — атмосферное давление;

$\delta$  — толщина диффузионного слоя;

$P_1$  — давление пара ГЖ в окружающей среде на расстоянии от поверхности, равном толщине диффузионного слоя  $\delta$ ;

$P_s$  — давление насыщенного пара ГЖ при температуре поверхности  $T_s$ .

Показатель степени  $m$  в формуле (1) для углеводородов приблизительно равен 2.

Это соотношение учитывает молекулярно-конвективный характер движения пара от поверхности испарения.

Принимая, что изменение скорости испарения ГЖ обусловлено снижением температуры факела пламени  $T_F$ , и считая, что за короткий период тушения пламени высокодисперсной водой температура поверхности существенно не изменится, найдем выражение для скорости горения ГЖ в стационарных условиях  $u_m$  в процессе тушения:

$$u_m = u_m^0 (T_F/T_0)^2. \quad (2)$$

Уравнение теплового баланса для процесса тушения ГЖ воздействием распыленной воды на зону горения имеет вид:

$$\rho C_p V dT_F = (n u_m^0 S_0 Q_n - Q_w q_w) dt, \quad (3)$$

где  $\rho$  — плотность продуктов горения;

$C_p$  — теплоемкость продуктов горения;

$V$  — объем зоны горения, высота которой принимается равной светящейся части пламени или расстоянию от распылителя до поверхности горения;

$n$  — коэффициент, учитывающий потери тепла излучением;  $n \approx 0,6$ ;

$S_0$  — площадь поверхности горения;

$Q_n$  — низшая теплота сгорания ГЖ;

$Q_w$  — удельное количество тепла, отбираемое водой от поверхностного слоя ГЖ в процессе тушения;

$q_w$  — секундный массовый расход воды;

$t$  — время тушения.

Рассмотрим два варианта решения уравнения теплового баланса. В первом просматривается снижение температуры поверхности ГЖ до температуры

ниже температуры вспышки горючего, при которой горение прекращается, а во втором анализируется снижение скорости выгорания до пренебрежимо малой величины, при которой паровоздушная смесь становится негорючей.

*Первый вариант решения* может выглядеть следующим образом.

Выразим параметр  $u_m$  через температуру в зоне горения. Для этого воспользуемся формулой для тепломассообмена в стационарном режиме:

$$u_m^0 = \frac{\alpha(T_F - T_s)}{Q_\Gamma}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;

$Q_\Gamma$  — удельная теплота испарения ГЖ.

Подставив выражение для удельной массовой скорости выгорания (4) в уравнение теплового баланса (3), получим:

$$\rho C_p V \frac{dT_F}{d\tau} = \frac{n\alpha Q_\Gamma S_0 (T_F - T_s)}{Q_\Gamma} - q_w Q_w. \quad (5)$$

Разделив обе части уравнения (5) на площадь горения  $S_0$  и обозначив

$$q_w/S_0 \equiv J, \quad (6)$$

перепишем формулу (5) в виде:

$$\rho C_p h \frac{dT_F}{d\tau} = \frac{n\alpha Q_\Gamma (T_F - T_s)}{Q_\Gamma} - J Q_w, \quad (7)$$

где  $J$  — интенсивность подачи воды;

$h$  — высота светящейся части пламени над поверхностью ГЖ.

Приведем уравнение (7) к виду, удобному для интегрирования:

$$d\tau = \frac{\rho C_p h Q_\Gamma dT_F}{(T_F - T_s) n\alpha Q_\Gamma - J Q_w Q_\Gamma}; \quad (8)$$

$$d\tau = - \frac{\rho C_p h Q_\Gamma dT - J Q_w Q_\Gamma (T_F - T_s) n\alpha Q_\Gamma}{n\alpha Q_\Gamma J Q_w Q_\Gamma (T_F - T_s) n\alpha Q_\Gamma}. \quad (9)$$

Интегрируем (9) от  $\tau = 0$  до  $\tau = \tau_t$  и от  $T_F^0$  до  $T_F$ :

$$\tau_t = \frac{\rho C_p h}{n\alpha Q_\Gamma} \ln \frac{J - J_{кр} \alpha (T_F - T_s)}{J - J_{кр}}, \quad (10)$$

где  $T_F^0$  — температура в зоне горения до начала тушения.

Критическому условию тушения, при котором время тушения бесконечно, т. е.  $\tau_t \rightarrow \infty$ , соответствует выражение

$$J = J_{кр} = \frac{(T_F^0 - T_s) n\alpha Q_\Gamma}{Q_w Q_\Gamma}. \quad (11)$$

В то же время  $\alpha(T_F - T_s)/Q_\Gamma = u_m^0$ , поэтому

$$J_{кр} = n Q_\Gamma u_m^0 / Q_w. \quad (12)$$

Введем выражение для  $J_{кр}$  (12) в формулу (10) и получим:

$$\tau_t = \frac{\rho C_p h}{n\alpha Q_\Gamma} \ln \frac{J - (T_F - T_s) \frac{n\alpha Q_\Gamma}{Q_w Q_\Gamma}}{J - J_{кр}}. \quad (13)$$

Рассмотрим *второй вариант решения*.

Используя формулу (4), запишем:

$$dT_F = \frac{Q_\Gamma}{\alpha} du_m. \quad (14)$$

Подставив выражение (14) в уравнение теплового баланса (3), получим:

$$\frac{\rho C_p h Q_\Gamma}{\alpha} du_m = (nu_m Q_\Gamma - J Q_w) d\tau. \quad (15)$$

Решим уравнение в пределах: от  $\tau = 0$  до  $\tau = \tau_t$  и от  $u_m = u_m^0$  до  $u_m = 0$ .

Условие  $\tau = \tau_t$  при  $u_m = 0$  является реальным только при тушении горючих жидкостей с высокой температурой вспышки. Поскольку вода практически вся испаряется в газовой фазе, температура поверхности ГЖ за период тушения существенно не изменится, поэтому предпринятое ранее преобразование в формуле (14) справедливо для случая тушения пламени ГЖ.

Решением уравнения (15) будет формула

$$\tau_t = \frac{\rho C_p h}{n\alpha Q_\Gamma} \ln \frac{J}{J - n Q_\Gamma u_m^0 / Q_w}. \quad (16)$$

Найдем значение критической интенсивности, при котором  $\tau_t \rightarrow \infty$ :

$$J = J_{кр} = \frac{n Q_\Gamma u_m^0}{Q_w}. \quad (17)$$

Подставив значение критической интенсивности (17) в формулу (16), получим:

$$\tau_t = \frac{\rho C_p h}{n\alpha Q_\Gamma} \ln \frac{J}{J - J_{кр}}. \quad (18)$$

Формула (15) лучше учитывает параметры ЛВЖ, а соотношение (18) пригодно для описания процесса тушения высококипящих ГЖ и твердых горючих материалов (ТГМ), температура поверхности которых при горении близка к  $T_F$ .

Определим, как в процессе тушения изменяется удельная скорость выгорания.

На базе взаимосвязи параметров  $u_m$  и  $T_F$  через соотношение (4) составим уравнение теплового баланса для зоны горения, ширина и высота которой определяются диаметром очага пожара:

$$\frac{\rho C_p h Q_\Gamma}{\alpha} \frac{du_m}{d\tau} = nu_m Q_\Gamma - J Q_w. \quad (19)$$

Уравнение (19) получено заменой  $dT_F$  на  $du_m$  в исходном соотношении:

$$\rho C_p h_F dT_F = q_F - q_b, \quad (20)$$

где

$$q_F = nu_m Q_n; \quad (21)$$

$$q_b = JQ_w; \quad (22)$$

$$dT_F = (Q_r / \alpha) du_m, \quad (23)$$

$h_F$  — высота зоны горения.

Проведем интегрирование дифференциального уравнения (19) в пределах  $\tau = 0$  до  $\tau = \tau_T$  и  $u_m = u_m^0$  до  $u_m = 0$ :

$$d\tau = \frac{\rho C_p du_m}{JQ_w - nQ_n u_m}. \quad (24)$$

Далее

$$\tau_T = \frac{\rho C_p h_F}{n\alpha Q_n} \ln \frac{JQ_w}{JQ_w - nQ_n u_m^0}. \quad (25)$$

При  $\tau_T \rightarrow \infty$   $J \rightarrow J_{кр}$ :

$$J_{кр} = \frac{nQ_n u_m^0}{Q_w}; \quad (26)$$

$$\tau_0 = \frac{\rho C_p h_F}{n\alpha Q_n}; \quad (27)$$

$$\tau_T = \tau_0 \ln \frac{J}{J - J_{кр}}. \quad (28)$$

Примем во внимание, что количество воды, испаряющееся в процессе тушения, будет уменьшаться по мере снижения температуры в зоне горения.

Составим уравнение теплового баланса:

$$\rho C_p dT_F = \left[ nu_m Q_n - \frac{\alpha f_\Sigma}{S_0} (T_F - T_s) \right] d\tau, \quad (29)$$

где  $f_\Sigma$  — суммарная площадь поверхности капель воды, участвующих в теплообмене.

Скорость поступления паров горючей жидкости определяется конвективным и диффузионным переносом и может быть описана формулой Стефана (4).

За короткий период тушения распыленной водой давление паров у поверхности заметно не изменится, поэтому

$$u_m / u_m^0 \cong (T_F / T_F^0)^2, \quad (30)$$

или

$$u_m = u_m^0 (T_F / T_F^0)^2. \quad (31)$$

Формулу для расчета суммарной площади поверхности теплообмена капель, находящихся в зоне факела пламени высотой  $h$ , можно получить, зная интенсивность подачи воды на тушение.

Возьмем уравнение теплового баланса для процесса тушения воздействием распыленной воды на зону горения:

$$\rho C_p V dT_F = (nu_m S_0 Q_n - Q_w q_b) d\tau. \quad (32)$$

Перепишем уравнение теплового баланса для процесса тушения (32) в следующем виде:

$$\rho C_p h dT_F = q_F - q_b, \quad (33)$$

где  $q_F = f(T_F)$ ;

$q_b = f'(T_F, r_k)$ ;

$r_k$  — радиус капли воды.

Представим параметры  $q_F$  и  $q_b$  в явном виде:

$$\rho C_p h dT_F = aT_F^2 - bT_F + cT_F, \quad (34)$$

где введены следующие обозначения:

$$a = u_m^0 / (T_F^0)^2; \quad (35)$$

$$b = -(3J\tau_0 / (\rho r_k^2)); \quad (36)$$

$$c = 3T_F J\tau_0 / (\rho r_k^2); \quad (37)$$

$$q_F = u_m^0 (T_F / T_F^0)^2; \quad (38)$$

$$q_b = \frac{\alpha f_\Sigma}{S_0} (T_F - T_0) = \frac{3J\tau_0}{\rho r_k} (T_F - T_0). \quad (39)$$

Преобразуем формулу (34) к виду, удобному для интегрирования:

$$d\tau = \frac{\rho C_p h dT_F}{aT_F^2 + bT_F + c}. \quad (40)$$

Общий интеграл уравнения

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \ln \frac{2aX + b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2aX + b + \sqrt{b^2 - 4ac}}. \quad (41)$$

Проведем анализ дискриминанты общего интеграла:

$$4ac - b^2 > 0. \quad (42)$$

Подставим выражения для  $a$ ,  $b$  и  $c$  из формул (35)–(37) в формулу (42) и получим:

$$\frac{nu_m^0 Q_n}{(T_F^0)^2} \frac{3J\tau_0 T_F}{\rho r_k^2} - \left( \frac{3J\tau_0}{\rho r_k^2} \right)^2 > 0. \quad (43)$$

Упростим выражение (41), представив его первым членом степенного ряда и подставив в него краевые условия:

$$\tau_T = \frac{\rho h \rho_b \cdot 2n u_m^0 Q_n}{3J (T_F^0)^2} \frac{T_F^0 - T_F}{J - J_{кр}}, \quad (44)$$

где

$$\tau_T = \frac{2a (T_F^0 - T_F) \rho C_p h}{2aT_F^0 + b}; \quad (45)$$

$\rho_b$  — плотность воды.

При  $\tau_r \rightarrow \infty$

$$2aT_F + b = 0. \quad (46)$$

Подставим выражения для  $a$  и  $b$  из формул (35) и (36) в формулу (46) и получим:

$$\frac{2nu_m^0 Q_n}{T_F^0} = \frac{3J\tau_0}{\rho r_k^2}. \quad (47)$$

Найдем выражение для критической интенсивности подачи распыленной воды:

$$J_{кр} = \frac{2}{3} \frac{\rho r_k^2 nu_m^0 Q_n}{T_F^0 \tau_0}. \quad (48)$$

Эта формула учитывает дисперсность исходной водяной струи.

Определим долю воды, испарившейся в факеле пламени.

В зависимости от размера капель воды меняется область ее воздействия на объект горения. Высокодисперсная вода со средним размером капель менее 100 мкм оказывает преимущественное воздействие на зону горения, испаряясь в ней полностью. Капли воды размером более 0,5 мм только частично испаряются в газовой фазе и в основном воздействуют на горящую поверхность ТГМ или ГЖ.

Чтобы определить время пребывания капли воды в зоне с повышенной температурой газа, необходимо рассчитать скорость ее падения. Если рассматривать каплю как твердый шарик, то при малых числах Рейнольдса  $Re$  установившаяся скорость падения  $v$  капли определяется по формуле Стокса

$$v = \frac{2}{9} \frac{\rho_v - \rho_g}{\eta} g r_k^2, \quad (49)$$

где  $\rho_g$  — плотность газа;

$\eta$  — динамическая вязкость газа;

$g$  — ускорение силы тяжести.

Если капля воды с начальным радиусом  $r_0$  нагревается при прохождении через слой газа, нагретого в данном случае до температуры факела пламени  $T_F$ , то изменение ее температуры во времени можно определить по соотношению

$$\frac{4}{3} \pi r_0^3 \rho_v C_v \frac{dT_0}{dt} = 4\pi r_0^2 \alpha (T_F - T_0), \quad (50)$$

где  $C_v$  — теплоемкость воды;

$T_0$  — начальная температура капли.

Интегрируя выражение (50), получим время нагревания капли  $\tau_n$  до температуры кипения:

$$\tau_n = \frac{1}{3} \frac{\rho_v C_v}{\alpha} \ln \frac{T_F - T_0}{T_F - T_k}, \quad (51)$$

где  $T_k$  — температура кипения воды.

Коэффициент теплоотдачи определяется как функция  $Re$ :

$$\alpha = \frac{\lambda}{r_0} (1 + 0,08 Re^{2/3}), \quad (52)$$

где  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности газа.

Для капель с  $r_k \leq 100$  мкм

$$0,08 Re^{2/3} \ll 1,$$

поэтому

$$\alpha \cong \lambda / r_k;$$

$$\tau_n = \frac{1}{3} \frac{r_k^2 \rho C_v}{\lambda} \ln \frac{T_F - T_0}{T_F - T_k}. \quad (53)$$

Определим время испарения капли при температуре кипения  $T_k$ :

$$\frac{dm}{d\tau} = \frac{\alpha f (T_F - T_k)}{Q_w}, \quad (54)$$

где  $m$  — масса капли;

$f$  — площадь поверхности капли.

Учитывая выражение для  $\alpha$  и подставив  $dm$  через  $dr_k$ , получим:

$$\frac{r_k dr_k}{d\tau} = \frac{\lambda}{\rho Q_w} (T_F - T_k). \quad (55)$$

Интегрируя формулу (55) в пределах  $\tau = 0; r_k = r_0$  и  $\tau = \tau_k, r_k = 0$ , получим время испарения  $\tau_n$ :

$$\tau_n = \frac{\rho Q_w}{\lambda} \frac{r_0^2 - r_k^2}{T_F - T_k} \quad (56)$$

или при  $r_k = 0$

$$\tau_n = \frac{\rho Q_w r_0^2}{2\lambda (T_F - T_k)}. \quad (57)$$

Найдем отношение времени испарения к времени нагревания капли:

$$\frac{\tau_n}{\tau_h} = \frac{3Q_w}{2C_v (T_F - T_k) \ln \frac{T_F - T_0}{T_F - T_k}}. \quad (58)$$

Удельная теплота испарения воды  $Q_w = 2,35 \cdot 10^6$  Дж/кг. Удельная теплоемкость воды  $C_v = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К);  $T_F - T_k = 1100$  К;  $\ln[(T_F - T_0)/(T_F - T_k)] = 0,068$ ;

$$\frac{\tau_n}{\tau_h} = \frac{2,35 \cdot 10^6}{2 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot 1100 \cdot 0,068} = 3,8.$$

Следовательно, время испарения капли в 3,8 раза больше времени ее нагревания при прохождении через факел пламени.

Если предположить, что скорость движения капли может в 150 раз превосходить ту, что была рассчитана для условий падения без начального импульса ( $v = 3,0$  м/с — установившаяся скорость), т. е. будет составлять 15 м/с, то коэффициент теплоотдачи следует определять по формуле (52) при  $T_F = 1500$  К,

$v = 225 \cdot 10^{-6}$  м/с,  $\rho = 0,27$  кг/м<sup>3</sup>,  $d_k = 1 \cdot 10^{-4}$  м,  $Re = 9,4$ , откуда  $\alpha_2 = 1,35\lambda/r_0$ .

Следовательно, различие в скоростях движения капли в 150 раз изменяет величину  $\alpha$  в 1,35 раза и во столько же раз увеличивает время нагрева и испарения капли воды в факеле пламени.

Если расстояние от оросителя до горящей поверхности 1 м, то время полета капли со скоростью 16 м/с составит  $\tau = 0,065$  с, а при установившейся скорости —  $\tau = 0,33$  с.

Оценим время испарения капли радиусом  $r_0 = 50$  мкм  $= 5 \cdot 10^{-5}$  м:

$$\tau_{\text{и}} = \frac{2,35 \cdot 10^6 \cdot (5 \cdot 10^{-5}) \cdot 10^3}{6 \cdot 9,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1100} = 9,6 \cdot 10^{-3}.$$

Тогда при  $r_0 = 1 \cdot 10^{-4}$  м время испарения  $\tau_{\text{и}} = 0,038$  с.

Время нагревания капли с параметрами  $r_0 = 5 \cdot 10^{-5}$  м,  $\lambda = 7 \cdot 10^{-5}$  Вт/(м·К):

$$\tau_{\text{н}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{(5 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^3}{9,2 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,068 = 2,5 \cdot 10^{-3}.$$

Для капель радиусом  $r_0 = 1 \cdot 10^{-4}$  м время испарения  $\tau_{\text{и}} = 0,01$  с.

Общее время с момента нагревания до полного испарения капель радиусом  $r_0 = 5 \cdot 10^{-5}$  м составит:

$$\Sigma \tau = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{и}} = 0,0025 + 0,0096 = 0,012 \text{ с.}$$

Итак, капли размером 100 мкм будут полностью испаряться в зоне горения протяженностью 1 м, если скорость полета составляет даже 16 м/с (по Стоксу  $v = 3$  м/с). Капли же больших размеров испаряются только частично.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М.: АН СССР, 1961. — 208 с.
2. Зельдович Я. Б., Баренблатт Г. И., Либрович В. Б., Махвиладзе Г. М. Математическая теория горения и взрыва. — М.: Наука, 1980. — 480 с.
3. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. — М.: Химия, 1982. — 400 с.
4. Семенов П. Течение жидкости в тонких слоях // Журнал технической физики. — 1944. — Т. 14, № 7–8. — С. 427–437.
5. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии. — Л.: Химия, 1974. — 352 с.

Материал поступил в редакцию 4 июля 2013 г.

English

## IMPACT OF DISPERSION OF WATER DROPS ON THE EFFICIENCY OF FIRE EXTINGUISHING OF COMBUSTIBLE LIQUID

**SHAROVARNIKOV A. F.**, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: kafedrapb@yandex.ru)

**KOROL'CHENKO D. A.**, Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: kafedrapb@yandex.ru)

## ABSTRACT

Depending on the size of water drops, the process of fire extinguishing is focused either on the burned zone, or on the surface of a burning liquid. The water drops that are smaller than 150  $\mu\text{m}$  evaporate completely in the burned zone which lowers the temperature to the critical value called the flash point. Temperature reduction in the burned zone reduces the speed of vapour inflow.

The current paper considers two variants of solving heat-balance equation. The first one views temperature reduction of the surface of combustible liquid (CL) to the temperature lower than the fuel flash point at which the burning stops. The second one analyzes the reduction of burnout velocity to the ignorable quantity, at which air-vapor mixture becomes non-combustible.

The difference in size of water drops changes its area of influence on a burning object. Finely dispersed water with an average drop size lower than 100  $\mu\text{m}$  predominately influences the burning zone and completely evaporates there. The water drops larger 0.5 mm evaporate only partially in a gas phase and mainly influence the burning surface of solid combustible materials or CL.

As a result of solving heat-balance equation, the following conclusion was made: the drops of 100  $\mu\text{m}$  in size will completely evaporate in the burning zone with extent of 1 m if the flying speed is even 16 mps (acc. to Stokes  $v=3$  mps); whereas the drops of larger size will evaporate only partially.

**Keywords:** process of fire extinguishing; extinguishing of solid combustible materials and combustible liquid; the size of water drops; evaporation in the burning zone; finely dispersed water.

## REFERENCES

1. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye goreniye zhidkostey* [Diffusion burning of liquids]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
2. Zel'dovich Ya. B., Barenblatt G. I., Librovich V. B., Makhviladze G. M. *Matematicheskaya teoriya goreniya i vzryva* [Mathematical theory of burning and explosion]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 480 p.
3. Frolov Yu. G. *Kurs kolloidnoy khimii. Poverkhnostnyye yavleniya i dispersnyye sistemy* [The course of dispersoidology. Surface phenomena and disperse systems]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 400 p.
4. Semenov P. *Techeniye zhidkosti v tonkikh sloyakh* [The fluid flow in thin layers]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki — Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics*, 1944, vol. 14, no. 7–8, pp. 427–437.
5. Friedrichsberg D. A. *Kurs kolloidnoy khimii* [The course of dispersoidology]. Leningrad, Khimiya Publ., 1974. 352 p.



# Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает вашему вниманию

Л. П. Пилюгин

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ВНУТРЕННИХ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ



Настоящая книга посвящена проблеме прогнозирования последствий внутренних взрывов газо-, паро- и пылевоздушных горючих смесей (ГС), образующихся при аварийных ситуациях на взрывоопасных производствах. В книге материал излагается применительно к дефлаграционным взрывам, которые обычно имеют место при горении ГС на этих производствах.

В качестве основных показателей при прогнозировании последствий аварийных взрывов ГС рассматриваются ожидаемый характер и объем разрушений строительных конструкций в здании (сооружении), в котором происходит аварийный взрыв.

Книга продолжает исследования автора в области проектирования зданий взрывоопасных производств и оценки надежности строительных конструкций (на основе метода преобразования рядов распределения случайных величин).

С использованием методов теории вероятностей разработаны методики: определения характеристик взрывной нагрузки как случайной величины; оценки вероятностей разрушения конструкций, характера и объема разрушений в здании при внутреннем аварийном взрыве. Приведенные методики сопровождаются примерами расчетов для зданий различных объемно-планировочных решений.

121352, г. Москва, а/я 43;

тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru

Пенообразователи

**ШТОРМ**



**Точный расчет на безопасность!**

РЕКЛАМА

Шторм-М — высокоэффективный пленкообразующий синтетический фторсодержащий пенообразователь специального назначения.

Основная область применения: химическая и нефтехимическая промышленность, аэродромы, а также везде, где необходимо за короткое время обеспечить тушение больших площадей с розливом нефти или нефтепродуктов либо предотвратить возгорание горючих жидкостей.

**ГЕФЕСТ**  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 925 51 31  
[www.gefestnpk.ru](http://www.gefestnpk.ru)  
[www.shtpena.ru](http://www.shtpena.ru)

# 28–30 мая

Красноярск

# 2014



X специализированный форум-выставка



- **Безопасность банковского сектора – NEW**
- Технические средства и системы безопасности
- Инженерно-технические средства физической защиты
- Пожарная безопасность
- Аварийно-спасательное оборудование
- Транспорт
- Экипировка. Индивидуальные средства защиты
- Информационная безопасность

РЕКЛАМА



**сибирь**  
международный  
выставочно-деловой центр



Организаторы:



Информационная поддержка:

**БЕЗОПАСНОСТЬ**  
всероссийский специализированный журнал

**ПОЖНАУКА**  
Издательство



**МВДЦ «СИБИРЬ»**

**ул. Авиаторов, 19**

**тел.: (391) 22-88-400**

**22-88-611 – круглосуточно**

**ccb@krasfair.ru, www.krasfair.ru**

**ВОПРОС:**

*В каких случаях допускается применение электрооборудования без средств взрывозащиты во взрывоопасных зонах?*

**ОТВЕТ:**

Современные нормативные документы требуют применения во взрывоопасных зонах только взрывозащищенного оборудования (Ех-оборудования).

В соответствии с п. 1 ст. 82 № 123-ФЗ [1] все электрооборудование должно соответствовать классу взрывоопасной зоны, в которой оно установлено, а также категории и группе взрывоопасной смеси. В ст. 90 [2] указано, что электрооборудование (машины, аппараты, устройства), контрольно-измерительные приборы, электрические светильники, средства блокировки, телефонные аппараты и сигнальные устройства к ним, устанавливаемые во взрывоопасных зонах классов 0, 1 и 2, должны быть во взрывозащищенном исполнении.

В более ранних нормативных источниках указывалось, что для отдельных классов взрывоопасных зон допускается\* использование оборудования без средств взрывозащиты. Так, например, в ПУЭ (6-е изд.) [3] в ст. 7.3.62 и 7.3.63 отмечено, что в зонах классов В-Ia и В-Ig могут применяться электрические аппараты, приборы без средств взрывозащиты, не искрящие и не подверженные нагреву выше 80 °С, со степенью защиты оболочки IP54, а в зонах класса В-Ib, В-IIa — электрические машины и стационарные светильники без средств взрывозащиты со степенью защиты оболочки соответственно не менее IP44 и IP53. Одной из причин таких допущений являлось отсутствие в нашей стране достаточного количества изделий во взрывозащищенном исполнении, особенно это касалось клеммных и ответвительных коробок. В любом случае применение изделий без средств взрывозащиты должно сопровождаться обязательным контролем со стороны рабочего персонала. Вместе с тем для контроля взрывоопасной среды на объекте должна быть установлена система, которая может включать в себя газоанализаторы, световую и звуковую сигнализацию, устройства автоматического запуска вентиляции и т. п.

Следует отметить, что в данной рубрике журнала № 3 за 2013 г. рассматривался вопрос об актуальности гл. 7. 3 ПУЭ [3], а также было отмечено, что отдельные пункты гл. 7. 3 отражены в более новых нормативных

\* Согласно ПУЭ слово “допускается” означает, что данное решение применяется в виде исключения как вынужденное (вследствие стесненных условий, ограниченных ресурсов необходимого оборудования, материалов и т. п.).

документах с определенными изменениями, которые коснулись и порядка применения Ех-оборудования.

На сегодняшний день в нашей стране существует достаточно фирм по производству всего спектра Ех-оборудования, соответствующего международным стандартам, поэтому приобретение и использование оборудования во взрывозащищенном исполнении не составляет проблемы.

В ГОСТах серий Р МЭК 60079 и 61241, устанавливающих общие требования к Ех-оборудованию для газовых и пылевых взрывоопасных сред, указываются определенные ограничения по предельным значениям электрических номинальных параметров электрооборудования, в частности ограничения по мощности, напряжению, току, частоте, режиму работы и другим подобным характеристикам, несоответствие которых может повлиять на безопасность самого оборудования.

Основным способом обеспечения пожаровзрывобезопасности на объекте по указанным выше ГОСТам является размещение электрооборудования за пределами взрывоопасной зоны или в зонах, требующих установки оборудования с наименьшим уровнем взрывозащиты.

В ГОСТ Р МЭК 60079-14–2011 [4] допускается применение электрооборудования без средств взрывозащиты только в течение ограниченного периода времени и при обстоятельствах, связанных со срочной заменой вышедшей из строя детали, с ремонтом, модернизацией и пр. При этом использование такого оборудования должно осуществляться под надзором специально обученного персонала при обеспечении одного из следующих условий:

- при отсутствии взрывоопасной газовой среды;
- в случае если установлено, что это электрооборудование будет отключено при появлении взрывоопасной газовой среды, а воспламенения горючей смеси после отключения оборудования (например, из-за нагретых частей) не произойдет.

При использовании переносного и передвижного электрооборудования на объекте должна быть составлена и внесена в документы программа управления риском. Данная программа включает в себя необходимое обучение, процедуры и управления, по результатам которых выдается допуск к безопасной работе (см. прил. D [4]).

Определенные требования предъявляются и к переносному электрооборудованию персонального использования (наручные часы, мобильные телефоны и т. п.). К электронным наручным часам без калькулятора, питаемым от обычных или солнечных батарей, не предъявляются требования по взрывозащите, так как многолетний опыт показал, что такие часы не яв-

ляются источником воспламенения взрывоопасной среды. Остальные переносные электронные устройства низкого напряжения, питаемые от обычных или солнечных батарей (включая электронные наручные часы с калькулятором), должны:

- отвечать видам взрывозащиты, соответствующим требованиям к уровню взрывозащиты оборудования, категории и группе взрывоопасной смеси;
- оцениваться на риски стать возможными источниками зажигания взрывоопасной смеси;
- пройти процедуру допуска к безопасной работе во взрывоопасной зоне.

Вышеуказанные требования распространяются и на остальное переносное электрооборудование (телефоны, планшетные компьютеры и т. п.), питаемое от других видов батарей. Основную опасность представляют литиевые батареи, используемые для питания большинства современных электрических устройств.

Во всех остальных случаях применение электрооборудования без средств взрывозащиты во взрывоопасных зонах запрещено.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 10.07.2012 г.) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности : утв. приказом Ростехнадзора от 12.03.2013 г. № 101; введ. 18.12.2013 г. — М. : Ростехнадзор, 2013.
3. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. — 6-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 640 с.
4. ГОСТ Р МЭК 60079-14-2008. Взрывоопасные среды. Часть 14. Проектирование, выбор и монтаж электроустановок. — Введ. 01.07.2010 г. — М. : Стандартинформ, 2009.

*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. ХАРАМЕНКОВ***



# Издательство «ПОЖНАУКА»

## Представляет книгу

### ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ

**Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой**



В учебном пособии приведены классификация огнетушителей и конструкции основных их типов, средства тушения, используемые для зарядки огнетушителей, виды огнетушителей и правила их применения для ликвидации загораний различных веществ, рекомендации по расчету необходимого количества огнетушителей для разных объектов, по их размещению, хранению и техническому обслуживанию.

Рекомендации, содержащиеся в книге, разработаны на основе современных нормативных документов, регламентирующих конструкцию, условия применения, правила эксплуатации и технического обслуживания огнетушителей.

Учебное пособие рассчитано на широкий круг читателей: инженерно-технических работников предприятий и организаций, ответственных за оснащение объектов огнетушителями, поддержание их в работоспособном состоянии и своевременную перезарядку; преподавателей курсов пожарно-технического минимума и дисциплины «Основы безопасности жизнедеятельности» в средних и высших учебных заведениях; частных лиц, выбирающих огнетушитель для обеспечения безопасности квартиры, дачи или автомобиля.

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

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; проблемные обзоры и краткие сообщения; 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. В начале работы (например, во введении) целесообразно кратко изложить состояние проблемы и место в ней данной задачи. В конце публикации должны быть сделаны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

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 авторами.

**2.** Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

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

**2.2.** Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть информативными, в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия; не должен также использоваться непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

**2.3.** Информация об авторах.

**2.3.1.** Имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью, на русском языке и в транслитерации). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

**2.3.2.** Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

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

**2.4.** Аннотация на русском языке (не менее 4–5 предложений).

**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 (должны излагаться существенные результаты работы; не должен включаться материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “*The study tested*”, но не “*It was tested in this study*”);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

Приветствуется 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 описывают предельно точно и информативно. 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 общеупотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

В авторском резюме не даются ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

**2.6.** Ключевые слова (на русском и английском языках).

**2.7.** Текст статьи (в формате Word через 1,5 инт.; формулы должны быть набраны в Equation 3.0 или MathType).

**2.8.** Пристатейные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).

Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. При этом цитируемый один в один текст из других публикаций следует брать в кавычки. 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.

**2.9.** Пристайные списки литературы в романском алфавите (латинице) — References.

Для References можно предложить следующий формат:

Author A. A., Author B. B., Author C. C. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53.

### Примеры описаний в References

#### Статьи из журнала:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoye khozyaystvo — Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

(Авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] (представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо), курсивом название журнала (транслитерация — перевод), год выхода издания, номер журнала, интервал страниц. Нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников).

#### Статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

#### Статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micro-machining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

(Если описываемая публикация имеет doi, его указание обязательно в References).

#### Статьи из периодического издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimentalnoye issledovaniye prochnosti soyedineniy “stal—kompozit” [Experimental study of the strength of joints “steel—composite”]. *Trudy MGTU “Matematicheskoye modelirovaniye slozhnykh tekhnicheskikh sistem”* [Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”], 2006, no. 593, pp. 125–130.

#### Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalina I. Z., Mukhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proyektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniye gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novyye resursosberegayushchiye tekhnologii nedropolzovaniya i povysheniya neftegazootdachi”* [Proc. 6th Int. Symp. “New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact”]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

#### Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Posledneye pravitelstvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

#### Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 472 p.).

#### Интернет-ресурс:

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources] Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (Accessed 7 February 2011).

#### Диссертации или авторефераты диссертаций:

Semenov V. I. *Matematicheskoye modelirovaniye plazmy v sisteme kompaktnyy tor*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

#### ГОСТы:

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

#### Описание патента:

Palkin M. V., e. a. *Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

На сайте издательства Emerald даны достаточно подробные рекомендации по составлению пристайных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard Reference System) практически для всех видов публикаций <http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>, а также программные средства для их формирования.

**3.** 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.

**4.** 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, черная белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо создать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций не приемины.

**5.** 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.

**6.** К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

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

**8.** Плата за публикацию работ с аспирантов не взимается.

**Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.**

# АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЗА 2013 г.

## А

- Абдурагимов И. М.** Еще раз о принципиальной невозможности выполнения расчетов пожарных рисков детерминированными методами, № 6, 13
- Абрамов Ю. А.** см. Шаршанов А. Я.
- Авдеев А. С.** см. Алексеев С. Г.
- Акперов Р. Г.** см. Пузач С. В.
- Алексашин В. М.** см. Швец Н. И.
- Алексеев К. С.** см. Алексеев С. Г.
- Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Гурьев Е. С.** Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VII. BST-методы, № 12, 23
- Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С.** Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VI. TNO-методы (часть 1), № 7, 22
- Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Пищальников А. В., Барбин Н. М.** Выбор наиболее опасной ЛВЖ при категорировании помещений, № 9, 19
- Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Барбин Н. М.** Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1), № 1, 31
- Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Животинская Л. О., Барбин Н. М.** Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. X. Сложные эфиры (часть 2), № 5, 9
- Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Пищальников А. В., Калач А. В.** Сравнительный анализ методов СП 12.13130.2009 и Карлссона–Квинтая, № 10, 34
- Алексеев С. Г., Пищальников А. В., Барбин Н. М., Левковец И. А.** Влияние внешних условий хранения водки на ее показатели пожаровзрывоопасности, № 3, 22
- Алексеев С. Г.** см. Смирнов В. В.
- Алешков М. В.** Особенности тушения крупных пожаров на территории Российской Федерации при внешнем воздействии опасных природных явлений, № 5, 59
- Алешков М. В., Кузьменко К. П., Инчиков В. П.** Перспектива применения установок газового пожаротушения на основе диоксида углерода для тушения пожаров на объектах электроэнергетики, № 11, 43
- Андреев Г. Г., Захаревич А. В., Панин В. Ф., Стрижак П. А.** Численное и экспериментальное исследование предельных условий возгорания ткани, пропитанной горючей жидкостью, при локальном нагреве, № 1, 15
- Анцулов Е. В., Родивилов С. М.** Тушение пропан-воздушного пламени гидрокарбонатами натрия и калия, № 11, 64

- Афанасьев Н. В.** см. Дубинин М. П.
- Ахметов Т. И.** см. Балакин В. М.

## Б

- Бакиров И. К.** см. Хафизов Ф. Ш.
- Балакин В. М., Красильникова М. А., Стародубцев А. В., Пазникова С. Н., Ахметов Т. И., Целусов Д. В., Смольников М. И.** Сравнительная оценка огнезащитных свойств фосфорсодержащих антипиренов на основе продуктов аминолита полиэтилентерефталата, № 4, 29
- Барановский Н. В.** Новый подход к оценке пожарной опасности лесных массивов в условиях действия сфокусированного солнечного излучения, № 1, 24
- Барановский Н. В.** Рабочая программа дисциплины “Приборы и системы для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности” по направлению обучения магистров “Пожарная безопасность”, № 9, 49
- Барановский Н. В., Захаревич А. В.** Физическое моделирование загорания травяной ветоши нагретой до высоких температур частицей, № 10, 6
- Барановский Н. В.** см. Кузнецов Г. В.
- Барбин Н. М.** см. Алексеев С. Г.
- Барбин Н. М.** см. Смирнов В. В.
- Барботько С. Л., Швец Н. И., Застрогина О. Б., Изотова Т. Ф.** Исследование влияния толщины стеклопластиков на характеристики тепловыделения при горении, № 7, 30
- Барботько С. Л.** см. Швец Н. И.
- Безродный И. Ф.** Экология пожаротушения — пока это только слова..., № 6, 85
- Белоусов В. С., Савин М. А., Саркисов С. В.** Эксергетическая оценка эффективности использования теплоты для самоподогрева воды насосом пожарного автомобиля, № 2, 65
- Битуев Б. Ж.** Проблемы противопожарной защиты резервуаров с новыми евротопливами, № 7, 75
- Борковская В. Г.** Новые требования профессиональных рисков в пожарной безопасности, № 12, 9
- Бочаров В. В., Раевская М. В.** Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях — “второе пришествие” галогенорганики с наилучшим сценарием развития для обитателей Земли, № 10, 75
- Бочкарев А. Н., Бочкарев И. А.** Комплексные системы и методы обеспечения авиационной и пожарной безопасности на объектах транспорта, № 2, 55
- Бочкарев И. А.** см. Бочкарев А. Н.
- Брушлинский Н. Н., Карпов В. Л., Курбанов А. Х., Усманов М. Х., Шимко В. Ю.** Инновационная технология ослабления тепловых и газовых потоков, № 5, 71

**Брюхань А. Ф., Брюхань Ф. Ф., Корольченко Д. А.** О категориях газогеохимической опасности насыпных грунтов, № 7, 55

**Брюхань Ф. Ф.** см. Брюхань А. Ф.

**Булва А. Д.** Применение водяных завес для ограничения распространения опасных примесей в атмосфере, № 9, 74

## В

**Вайсман М. Н.** см. Краснов Е. В.

**Верхотурова Е. В.** см. Котов С. Г.

**Виноградов А. Г.** Поглощение теплового излучения водяными завесами. Часть 2, № 4, 72

**Виноградов А. Г.** Учет спектрального состава теплового излучения при расчете коэффициента пропускания капли воды, № 9, 64

**Виноградов А. Г.** Экранирование теплового излучения полидисперсными водяными завесами, № 6, 74

**Волков Г. М.** Потенциал пожаровзрывобезопасности машиностроительных материалов и технологий, № 12, 31

**Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.** Экспериментальное исследование особенностей движения капель распыленной тушащей жидкости на входе в зону пламени, № 12, 16

**Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.** Экспериментальное исследование полноты испарения распыленной воды при ее движении через пламя, № 10, 15

## Г

**Гарашенко А. Н.** см. Рудзинский В. П.

**Гарашенко Н. А.** см. Рудзинский В. П.

**Глушков Д. О., Захаревич А. В., Стрижак П. А.** Определение кинетических параметров зажигания диспергированного конденсированного вещества при локальном нагреве, № 6, 24

**Голиков А. Д., Черкасов Е. Ю.** Распространение пожаров по пустотам в зданиях (литературный обзор материалов реферативного журнала серии "Пожарная безопасность" с 1982 по 2012 гг.), № 9, 37

**Голиков А. Д., Черкасов Е. Ю., Григорьев Д. М.** Прогнозирование предела огнестойкости стен зданий с температурными швами, заполненными огнестойкой пеной, № 8, 48

**Горбань М. Ю.** см. Горбань Ю. И.

**Горбань Ю. И., Горбань М. Ю., Синельникова Е. А.** Установки автоматического пожаротушения на базе лафетных стволов с осцилляторами для защиты объектов энергетики, № 1, 76

**Гордон Б. Г.** Поиски смысла пожарной безопасности, № 8, 8

**Горев В. А., Медведев Г. М.** Кинетические и газодинамические причины аварийных взрывов водорода, № 11, 24

**Горев В. А., Салымова Е. Ю.** Влияние условий газообмена и начальной температуры на формирование опасных факторов пожара на начальной стадии его развития, № 1, 63

**Гравит М. В.** Оценка порового пространства пенококса огнезащитных вспучивающихся покрытий, № 5, 33

**Гравит М. В.** Цветовое исполнение для строительных конструкций с огнезащитными вспучивающимися покрытиями, № 10, 47

**Григорьев Д. М.** см. Голиков А. Д.

**Грубиян М. Б.** см. Серебренников С. Ю.

**Гурьев Е. С.** см. Алексеев С. Г.

**Гурьев Ю. В., Ткаченко И. В., Еремин Ю. С.** Использование методов численного моделирования в проектировании оросителей автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой, № 2, 78

## Д

**Дашко Л. В., Довбня А. В., Ключников В. Ю., Плотникова Г. В.** Применение методов термического анализа при исследовании влияния температуры на фрикционную основу тормозных колодок автомобиля, № 6, 68

**Дашко Л. В., Ключников В. Ю., Плотникова Г. В.** Использование методов синхронного термического анализа для исследования углей при производстве пожарно-технических экспертиз, № 9, 13

**Дешевых Ю. И.** Жителям столичного региона повторения смога опасаться не стоит, № 6, 5

**Дешевых Ю. И.** О пожарной безопасности на территории России в период новогодних праздников, № 2, 4

**Джураев С. М.** см. Сарымсаков А. А.

**Динь Конг Хынг, Корольченко А. Я., Охроменко А. С.** Пожаротушение тонкораспыленной водой в отсеках высотного здания, № 3, 63

**Дмитриев О. В., Мисников О. С., Попов В. И.** Исследование свойств огнетушащих порошковых составов, модифицированных гидрофобными добавками на основе торфяного сырья, № 5, 81

**Добростан А. В.** см. Жартовский В. М.

**Довбня А. В.** см. Дашко Л. В.

**Дубинин М. П., Афанасьев Н. В., Жуков В. В.** Развитие института независимой оценки пожарного риска, № 3, 69

**Дубинин М. П., Жуков В. В.** Основные причины плачевных результатов независимой оценки пожарного риска, № 7, 80

**Думилин А. И.** Параметры тушения пламени горючих жидкостей распыленной водой, № 4, 85

**Думилин А. И.** Тушение пламени горючих жидкостей охлаждением их поверхности распыленной водой, № 8, 81

**Дутов В. И.** см. Пузач С. В.

**Е**

Еремин Ю. С. см. Гурьев Ю. В.

**Ж**

**Жартовский В. М., Нижник В. В., Жартовский С. В., Добростан А. В.** Пассивная противопожарная защита деревянных конструкций куполов церквей с применением пропиточных составов, № 3, 31

**Жартовский С. В.** Системный подход к созданию противопожарной защиты объекта с использованием водных огнезащитных и огнетушащих веществ, № 9, 25

**Жартовский С. В., Нижник В. В., Уханский Р. В.** Активная противопожарная защита деревянных конструкций куполов церквей с применением водных огнетушащих веществ, № 4, 65

**Жартовский С. В.** см. Жартовский В. М.

**Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.** Влияние распределения капель воды в “водяном снаряде” на температуру в его следе, № 2, 9

**Животинская Л. О.** см. Алексеев С. Г.

**Животинская Л. О.** см. Смирнов В. В.

**Жуков В. В.** см. Дубинин М. П.

**З**

**Зарубин В. П., Киселев В. В., Топоров А. В., Пучков П. В., Мельников А. А.** Перспективы применения нанопорошков силикатов в смазочных материалах, используемых в пожарной технике, № 5, 65

**Застрогина О. Б.** см. Барботько С. Л.

**Застрогина О. Б.** см. Швеи Н. И.

**Захаревич А. В., Огородников В. Н.** Условия и характеристики возгорания измельченных углей при локальном нагреве, № 3, 13

**Захаревич А. В.** см. Андреев Г. Г.

**Захаревич А. В.** см. Барановский Н. В.

**Захаревич А. В.** см. Глушков Д. О.

**Захматов В. Д.** История и перспективы разработки пожарных машин на военных гусеничных и колесных шасси, № 11, 31

**Захматов В. Д.** Пожар в Гостином Дворе — одной из главных исторических ценностей Подола — самого старого района Киева, № 5, 39

**Захматов В. Д.** Угроза государственной программе по энергетической независимости Украины — переводу газовых электростанций на угольную пыль, № 8, 63

**Захматов В. Д.** см. Кряжич О. А.

**И**

**Изотова Т. Ф.** см. Барботько С. Л.

**Инчиков В. П.** см. Алешков М. В.

**Истратов Р. Н.** см. Самошин Д. А.

**Истратов Р. Н.** см. Холщевников В. В.

**Й**

**Йулдошов Ш. А.** см. Сарымсаков А. А.

**К**

**Кайбичев И. А.** см. Кайбичева Е. И.

**Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А.** Индекс материального ущерба от пожаров в сельской местности в Российской Федерации за 2006–2010 годы, № 7, 59

**Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А.** Индекс числа лесных пожаров в Российской Федерации за 2006–2010 годы, № 5, 45

**Калач А. В., Сорокина Ю. Н., Карташова Т. В., Спичкин Ю. В.** Оценка пожароопасных свойств органических соединений с применением дескрипторов, № 2, 18

**Калач А. В.** см. Алексеев С. Г.

**Калач А. В.** см. Рудаков О. Б.

**Калач А. В.** см. Смирнов В. В.

**Калач А. В.** см. Сорокина Ю. Н.

**Калач Е. В.** см. Сорокина Ю. Н.

**Карпов В. Л.** см. Брушлинский Н. Н.

**Карташова Т. В.** см. Калач А. В.

**Киреев А. А.** см. Шаршанов А. Я.

**Кириллов И. А.** см. Мещерин С. А.

**Кириченко О. В.** Скорость и предельные режимы горения трехкомпонентных пиротехнических смесей в условиях внешних воздействий, № 5, 20

**Кириченко О. В.** Тепловые воздействия на поверхность металлических обтекателей пиротехнических изделий в условиях выстрела и полета, № 9, 6

**Кирсанов А. И.** см. Меркулов В. А.

**Киршев А. А.** Разработка экспериментального стенда для оценки интенсивности испарения углеводородных жидкостей, № 12, 38

**Киселев В. В.** см. Зарубин В. П.

**Клименко С. В.** см. Мещерин С. А.

**Климушин Н. Г.** Самый грандиозный пожар XX столетия, № 3, 9

**Ключников В. Ю.** см. Дашко Л. В.

**Кобелев А. А.** см. Покровская Е. Н.

**Козубовский В. Р., Федак М. В.** Проблемы разработки и внедрения в производство газовых пожарных извещателей, № 7, 64

**Колесников Е. Ю.** О модельной неопределенности пожарного риска наземного резервуара с бензином, № 3, 38

**Колпаков В. Ф.** Синтез адаптивного алгоритма управления ликвидацией лесных пожаров, № 11, 17

**Комяк В. В.** см. Комяк В. М.

**Комяк В. М., Соболев А. Н., Комяк В. В.** Математическое и компьютерное моделирование противопожарной защиты объектов народного хозяйства, № 10, 54

**Корнилов А. А.** Оптимизация системы противопожарной защиты объекта посредством дифференцированной оценки вероятности возникновения пожара, № 2, 38

**Корольченко А. Я.** см. Динь Конг Хынг

**Корольченко А. Я.** см. Хоанг Тхо Дык

**Корольченко Д. А.** см. Брюхань А. Ф.

**Корольченко Д. А.** см. Покровская Е. Н.

**Корольченко Д. А.** см. Шароварников А. Ф.

**Котов Д. С.** см. Котов С. Г.

**Котов С. Г., Саечников В. А., Котов Д. С., Верхотурова Е. В.** Экспресс-метод прогнозирования зон поражения опасными факторами пожара и взрыва при выбросе сильнодействующих ядовитых веществ, № 7, 37

**Красильникова М. А.** см. Балакин В. М.

**Краснов Е. В., Вайсман М. Н., Смирнов А. С., Смирнов С. А.** Анализ нормативного регулирования порошковых составов и огнетушителей в России и за рубежом, № 1, 7

**Кряжич О. А., Захматов В. Д.** Модели управления импульсной взрывопожарной защитой химического предприятия, № 1, 81

**Кудрин И. С.** см. Холщевников В. В.

**Кузнецов Г. В., Барановский Н. В.** Образование нагретых до высоких температур частиц древесины в результате воздействия наземного грозового разряда на ствол хвойного дерева, № 11, 5

**Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.** Оценка эффективности использования теплоты испарения воды при тушении лесных пожаров, № 9, 57

**Кузнецов Г. В.** см. Волков Р. С.

**Кузнецов Г. В.** см. Жданова А. О.

**Кузьменко К. П.** см. Алешков М. В.

**Кузьменко К. П.** см. Меркулов В. А.

**Курбанов А. Х.** см. Брушлинский Н. Н.

## Л

**Лалаян В. М.** см. Ушков В. А.

**Ландышев Н. В.** Сколько в доме первых этажей? (О формулировках в нормативных документах), № 11, 80

**Ланин Д. Г., Поляков Д. В., Цариченко С. Г.** Обоснование выбора средства пожаротушения для электрических кабелей, № 2, 73

**Левковец И. А.** см. Алексеев С. Г.

**Ломакин С. М.** см. Ушков В. А.

## М

**Марков А. Г.** Параметры разрядов статического электричества в диэлектрических емкостях, № 10, 61

**Медведев Г. М.** см. Горев В. А.

**Мельников А. А.** см. Зарубин В. П.

**Меркулов В. А., Кузьменко К. П., Кирсанов А. И.** Тушение диоксидом углерода пожаров в верти-

кальных стальных резервуарах с нефтью и нефтепродуктами, № 3, 58

**Мешерин С. А., Кириллов И. А., Клименко С. В.** Метамоделю совместно используемого осознания ситуации для управления стойкостью сооружений повышенной ответственности, № 6, 40

**Мисников О. С.** см. Дмитриев О. В.

**Мурзинов В. Л.** Моделирование временных характеристик устройства спасения падающих с высоты людей, № 9, 44

**Мурзинов В. Л., Паршин М. В., Паршина А. П.** Моделирование температурного режима пожара с учетом работы вентиляции в негерметичном помещении, № 6, 56

## Н

**Нахтигаль Е. А.** Рассмотрение пожарной безопасности методами системного анализа, № 4, 9

**Невзоров Д. И.** см. Ушков В. А.

**Нижник В. В.** см. Жартовский В. М.

**Нижник В. В.** см. Жартовский С. В.

**Новиков В. В., Цопов С. В.** Проблемы обеспечения пожарной безопасности жилого сектора и пути их решения, № 8, 53

## О

**Огородников В. Н.** см. Захаревич А. В.

**Охроменко А. С.** см. Динь Конг Хынг

## П

**Пазникова С. Н.** см. Балакин В. М.

**Панин В. Ф.** см. Андреев Г. Г.

**Паршин М. В.** см. Мурзинов В. Л.

**Паршина А. П.** см. Мурзинов В. Л.

**Пищальников А. В.** см. Алексеев С. Г.

**Пищальников А. В.** см. Сорокина Ю. Н.

**Плотникова Г. В.** см. Дашко Л. В.

**Покровская Е. Н., Портнов Ф. А., Кобелев А. А., Корольченко Д. А.** Дымообразующая способность и токсичность продуктов сгорания древесных материалов при поверхностном модифицировании элементоорганическими соединениями, № 10, 40

**Поляков Д. В.** см. Ланин Д. Г.

**Попов В. И.** см. Дмитриев О. В.

**Портнов Ф. А.** см. Покровская Е. Н.

**Преображенский М. А.** см. Рудаков О. Б.

**Прохоренко К. В.** см. Серебренников С. Ю.

**Пузач С. В., Сулейкин Е. В., Акперов Р. Г., Дутов В. И.** Повышение достоверности экспериментальных методов определения показателя токсичности веществ и материалов, № 2, 29

**Пучков П. В.** см. Зарубин В. П.

**Р**

- Раевская М. В.** см. Бочаров В. В.  
**Родивилов С. М.** см. Анцупов Е. В.  
**Ройтман В. М.** Особенности проектирования огнестойкости конструкций и зданий при комбинированных особых воздействиях с участием пожара, № 7, 47  
**Рудаков О. Б., Преображенский М. А., Калач А. В., Спичкин Ю. В.** Информационно-аналитическая система в оценке технико-эксплуатационных свойств жидких сред, № 4, 22  
**Рудзинский В. П., Гаращенко А. Н., Гаращенко Н. А.** Теплотехнические расчеты двухмерных температурных полей в конструкциях из полимерных композитов со вспучивающимся огнезащитным покрытием, № 8, 42

**С**

- Савин М. А.** см. Белоусов В. С.  
**Саечников В. А.** см. Котов С. Г.  
**Салымова Е. Ю.** см. Горев В. А.  
**Самошин Д. А., Истратов Р. Н.** Оценка уровня противопожарной подготовки сотрудников медико-реабилитационного учреждения на примере персонала больниц, № 4, 52  
**Самошин Д. А.** см. Холщевников В. В.  
**Саркисов С. В.** см. Белоусов В. С.  
**Сарымсаков А. А., Йулдошов Ш. А., Усманов М. Х., Джурраев С. М.** Наполненные древесностружечные плиты с пониженной горючестью, № 8, 38  
**Серебренников Д. С.** Размещение зданий, сооружений и установок на площадках бурения поисково-оценочных и разведочных скважин нефтегазовых месторождений с учетом противопожарных норм, № 4, 35  
**Серебренников С. Ю., Прохоренко К. В., Чернов С. В., Грубиян М. Б.** Тушение взрывчатых веществ и твердых ракетных топлив аэрозольно-порошковым методом, № 11, 49  
**Синельникова Е. А.** см. Горбань Ю. И.  
**Смирнов А. С.** см. Краснов Е. В.  
**Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О.** Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IX. Хлоралканы, № 4, 13  
**Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Калач А. В.** Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XI. Галогеналканы, № 8, 25  
**Смирнов С. А.** см. Краснов Е. В.  
**Смольников М. И.** см. Балакин В. М.  
**Соболь А. Н.** см. Комяк В. М.  
**Сокорева Е. В.** см. Ушков В. А.  
**Сорокина Ю. Н., Черникова Т. В., Калач А. В., Калач Е. В., Пищальников А. В.** Влияние структу-

ры молекулы на показатели пожароопасности азотсодержащих органических веществ, № 11, 12

- Сорокина Ю. Н.** см. Калач А. В.  
**Спичкин Ю. В.** см. Калач А. В.  
**Спичкин Ю. В.** см. Рудаков О. Б.  
**Стародубцев А. В.** см. Балакин В. М.  
**Стрижак П. А.** Численный анализ диффузионно-конвективных процессов тепломассопереноса при движении капель воды через высокотемпературные продукты сгорания, № 7, 11  
**Стрижак П. А.** см. Андреев Г. Г.  
**Стрижак П. А.** см. Волков Р. С.  
**Стрижак П. А.** см. Глушков Д. О.  
**Стрижак П. А.** см. Жданова А. О.  
**Стрижак П. А.** см. Кузнецов Г. В.  
**Сулейкин Е. В.** см. Пузач С. В.  
**Сулейманов И. Р.** см. Хафизов Ф. Ш.

**Т**

- Таранцев А. А.** Методы расчетной оценки динамики пожаров в помещениях, № 3, 82  
**Таранцев А. А.** О проблеме размещения вновь создаваемых пожарных частей на территориях регионов, № 5, 52  
**Тимашев С. А.** см. Алексеев С. Г.  
**Тимошин В. С.** Пожарная безопасность в плену проблем, № 11, 75  
**Ткаченко И. В.** см. Гурьев Ю. В.  
**Томашкова М.** Пожар как важный фактор, влияющий на работу пожарных, № 6, 8  
**Топоров А. В.** см. Зарубин В. П.  
**Трифонов О. Н.** Оптимизация огнезащиты металлических конструкций, № 1, 58

**У**

- Усманов М. Х.** см. Брушлинский Н. Н.  
**Усманов М. Х.** см. Сарымсаков А. А.  
**Уханский Р. В.** см. Жартовский С. В.  
**Ушков В. А., Лалаян В. М., Ломакин С. М., Невзоров Д. И.** Горючесть и дымообразующая способность полимерных композиционных материалов с разлагающимися минеральными наполнителями, № 8, 15  
**Ушков В. А., Лалаян В. М., Ломакин С. М., Невзоров Д. И.** О влиянии неразлагающихся наполнителей на воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных композиционных материалов, № 6, 32  
**Ушков В. А., Лалаян В. М., Невзоров Д. И., Ломакин С. М.** О влиянии фталатных и фосфатных пластификаторов на воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных композиционных материалов, № 10, 25  
**Ушков В. А., Лалаян В. М., Сокорева Е. В.** Распространение пламени по поверхности строительных пенопластов, № 2, 23

## Ф

**Федак М. В.** см. Козубовский В. Р.

## Х

**Хабибулин Р. Ш.** см. Шихалев Д. В.

**Хафизов Ф. Ш., Бакиров И. К., Сулейманов И. Р.**  
Влияние пенополиуретановой теплоизоляции, нанесенной с внутренней стороны стенки вертикального стального резервуара, на температурный режим стенки в условиях горения, № 6, 52

**Хоанг Тхо Дык, Корольченко А. Я.** Выбор системы оповещения и управления эвакуацией при пожаре, № 1, 69

**Хоанг Тхо Дык, Корольченко А. Я.** Оборудование, применяемое в системах оповещения и управления эвакуацией, № 4, 57

**Хоанг Тхо Дык, Корольченко А. Я.** Сопоставление эффективности проводных и беспроводных систем оповещения и управления эвакуацией, № 10, 69

**Холщевников В. В.** Влияние методов натурных наблюдений на определение числовых характеристик закона распределения расчетной величины скорости людского потока, № 8, 71

**Холщевников В. В., Кудрин И. С.** Обеспечение безопасной эвакуации людей с учетом стохастичности процесса распространения опасных факторов пожара в высотных зданиях, № 4, 38

**Холщевников В. В., Кудрин И. С.** Экспериментальные исследования людских потоков в лестничной клетке многоэтажного здания, № 12, 43

**Холщевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н.** Исследование проблем обеспечения пожарной безопасности людей с нарушением зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата, № 3, 48

## Ц

**Цариченко С. Г.** см. Ланин Д. Г.

**Целоусов Д. В.** см. Балакин В. М.

**Цопов С. В.** см. Новиков В. В.

## Ч

**Черкасов Е. Ю.** см. Голиков А. Д.

**Черникова Т. В.** см. Сорокина Ю. Н.

**Чернов С. В.** см. Серебренников С. Ю.

**Чуприян А. П.** Команда, без которой мне не жить, № 4, 6

## Ш

**Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А.** Влияние дисперсности капель воды на эффективность тушения пожаров горючей жидкости, № 12, 69

**Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А.** Тушение горючих жидкостей распыленной водой, № 11, 70

**Шархун С. В.** Средства оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре на основе сетевых технологий, № 2, 60

**Шаршанов А. Я., Абрамов Ю. А., Киреев А. А.** Моделирование поведения капель компонентов геолообразующих огнетушащих систем в высокотемпературной области, № 11, 57

**Швец Н. И., Застрогина О. Б., Барботько С. Л., Алексашин В. М.** Фенолформальдегидное связующее пониженной горючести, № 5, 26

**Швец Н. И.** см. Барботько С. Л.

**Шимко В. Ю.** Использование водопленочных теплозащитных экранов для защиты от теплового излучения при горении проливов сжиженного природного газа, № 12, 63

**Шимко В. Ю.** см. Брушлинский Н. Н.

**Шихалев Д. В., Хабибулин Р. Ш.** Системы управления эвакуацией в зданиях торгово-развлекательных центров, № 6, 61

# ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2013 г.

| Фамилии авторов и название статей                                                                                                                                                                            | Номер<br>журнала | Стр. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|
| <b>ЮБИЛЕИ</b>                                                                                                                                                                                                |                  |      |
| <b>ЧЕРКАСОВУ Владимиру Николаевичу — 90 лет</b> .....                                                                                                                                                        | 7                | 6    |
| <b>НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ</b>                                                                                                                                                                        |                  |      |
| 4-я Конференция по исследованию поведения пожаров и топлив “На перепутье: Взгляд на изменение окружающей среды в будущем”, 1–4 июля 2013 г., г. Санкт-Петербург, Россия .....                                | 2                | 6    |
| 86 лет назад был создан Государственный пожарный надзор России .....                                                                                                                                         | 8                | 5    |
| VII Международная научная конференция “Полимерные материалы пониженной горючести”, 6–10 октября 2013 г., г. Таганрог, Россия .....                                                                           | 5                | 5    |
| Академии ГПС — 80 лет: история становления .....                                                                                                                                                             | 10               | 5    |
| Дан старт реализации федеральной целевой программы “Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2017 года”. .....                                                                              | 3                | 6    |
| <b>Дешевых Ю. И.</b> Жителям столичного региона повторения смога опасаться не стоит .....                                                                                                                    | 6                | 5    |
| <b>Дешевых Ю. И.</b> О пожарной безопасности на территории России в период новогодних праздников .....                                                                                                       | 2                | 4    |
| Если вы оказались в зоне природного пожара .....                                                                                                                                                             | 7                | 9    |
| Международная выставка “Развитие инфраструктуры юга России — IDES”, 16–18 октября 2012 г., г. Краснодар, Россия .....                                                                                        | 1                | 4    |
| Международный отраслевой форум-выставка “Пожарная безопасность XXI века”, 24–27 сентября 2013 г., г. Москва, Россия .....                                                                                    | 12               | 5    |
| Форум “Технологии безопасности–2013”: Передовые тренды. Профессиональная аудитория. Интенсивная деловая программа. Максимальная эффективность для посетителей и участников .....                             | 3                | 4    |
| <b>Чуприян А. П.</b> Команда, без которой мне не жить. ....                                                                                                                                                  | 4                | 6    |
| <b>ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</b>                                                                                                                                                                   |                  |      |
| <b>Абдурагимов И. М.</b> Еще раз о принципиальной невозможности выполнения расчетов пожарных рисков детерминированными методами .....                                                                        | 6                | 13   |
| <b>Борковская В. Г.</b> Новые требования профессиональных рисков в пожарной безопасности .....                                                                                                               | 12               | 9    |
| <b>Гордон Б. Г.</b> Поиски смысла пожарной безопасности .....                                                                                                                                                | 8                | 8    |
| <b>Климушин Н. Г.</b> Самый грандиозный пожар XX столетия .....                                                                                                                                              | 3                | 9    |
| <b>Краснов Е. В., Вайсман М. Н., Смирнов А. С., Смирнов С. А.</b> Анализ нормативного регулирования порошковых составов и огнетушителей в России и за рубежом .....                                          | 1                | 7    |
| <b>Нахтигаль Е. А.</b> Рассмотрение пожарной безопасности методами системного анализа .....                                                                                                                  | 4                | 9    |
| <b>Томашкова М.</b> Пожар как важный фактор, влияющий на работу пожарных .....                                                                                                                               | 6                | 8    |
| <b>ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА</b>                                                                                                                                                                             |                  |      |
| <b>Андреев Г. Г., Захаревич А. В., Панин В. Ф., Стрижак П. А.</b> Численное и экспериментальное исследование предельных условий возгорания ткани, пропитанной горючей жидкостью, при локальном нагреве ..... | 1                | 15   |
| <b>Барановский Н. В.</b> Новый подход к оценке пожарной опасности лесных массивов в условиях действия сфокусированного солнечного излучения .....                                                            | 1                | 24   |
| <b>Барановский Н. В., Захаревич А. В.</b> Физическое моделирование зажигания травяной ветоши нагретой до высоких температур частицей .....                                                                   | 10               | 6    |
| <b>Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.</b> Экспериментальное исследование особенностей движения капель распыленной тушающей жидкости на входе в зону пламени .....                                   | 12               | 16   |

| Фамилии авторов и название статей                                                                                                                                                                                                        | Номер<br>журнала | Стр. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|
| <b>Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.</b> Экспериментальное исследование полноты испарения распыленной воды при ее движении через пламя . . . . .                                                                               | 10               | 15   |
| <b>Глушков Д. О., Захаревич А. В., Стрижак П. А.</b> Определение кинетических параметров загорания диспергированного конденсированного вещества при локальном нагреве . . . . .                                                          | 6                | 24   |
| <b>Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.</b> Влияние распределения капель воды в “водяном снаряде” на температуру в его следе . . . . .                                                                                           | 2                | 9    |
| <b>Захаревич А. В., Огородников В. Н.</b> Условия и характеристики возгорания измельченных углей при локальном нагреве . . . . .                                                                                                         | 3                | 13   |
| <b>Кириченко О. В.</b> Тепловые воздействия на поверхность металлических обтекателей пиротехнических изделий в условиях выстрела и полета . . . . .                                                                                      | 9                | 6    |
| <b>Кузнецов Г. В., Барановский Н. В.</b> Образование нагретых до высоких температур частиц древесины в результате воздействия наземного грозового разряда на ствол хвойного дерева . . . . .                                             | 11               | 5    |
| <b>Стрижак П. А.</b> Численный анализ диффузионно-конвективных процессов тепломассопереноса при движении капель воды через высокотемпературные продукты сгорания . . . . .                                                               | 7                | 11   |
| <b>ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ</b>                                                                                                                                                                                        |                  |      |
| <b>Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Гурьев Е. С.</b> Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VII. BST-методы . . . . .                                                      | 12               | 23   |
| <b>Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С.</b> Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VI. TNO-методы (часть 1) . . . . .                              | 7                | 22   |
| <b>Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Пищальников А. В., Барбин Н. М.</b> Выбор наиболее опасной ЛВЖ при категорировании помещений . . . . .                                                                                                  | 9                | 19   |
| <b>Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Барбин Н. М.</b> Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1) . . . . .                                                                                 | 1                | 31   |
| <b>Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Животинская Л. О., Барбин Н. М.</b> Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. X. Сложные эфиры (часть 2) . . . . .                                                                 | 5                | 9    |
| <b>Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Пищальников А. В., Калач А. В.</b> Сравнительный анализ методов СП 12.13130.2009 и Карлссона – Квинтая. . . . .                                                                                         | 10               | 34   |
| <b>Алексеев С. Г., Пищальников А. В., Барбин Н. М., Левковец И. А.</b> Влияние внешних условий хранения водки на ее показатели пожаровзрывоопасности . . . . .                                                                           | 3                | 22   |
| <b>Барботько С. Л., Швец Н. И., Застрогина О. Б., Изотова Т. Ф.</b> Исследование влияния толщины стеклопластиков на характеристики тепловыделения при горении . . . . .                                                                  | 7                | 30   |
| <b>Волков Г. М.</b> Потенциал пожаровзрывобезопасности машиностроительных материалов и технологий . . . . .                                                                                                                              | 12               | 31   |
| <b>Дашко Л. В., Ключников В. Ю., Плотникова Г. В.</b> Использование методов синхронного термического анализа для исследования углей при производстве пожарно-технических экспертиз . . . . .                                             | 9                | 13   |
| <b>Калач А. В., Сорокина Ю. Н., Карташова Т. В., Спичкин Ю. В.</b> Оценка пожароопасных свойств органических соединений с применением дескрипторов . . . . .                                                                             | 2                | 18   |
| <b>Кириченко О. В.</b> Скорость и предельные режимы горения трехкомпонентных пиротехнических смесей в условиях внешних воздействий . . . . .                                                                                             | 5                | 20   |
| <b>Котов С. Г., Саечников В. А., Котов Д. С., Верхотурова Е. В.</b> Экспресс-метод прогнозирования зон поражения опасными факторами пожара и взрыва при выбросе сильнодействующих ядовитых веществ . . . . .                             | 7                | 37   |
| <b>Покровская Е. Н., Портнов Ф. А., Кобелев А. А., Корольченко Д. А.</b> Дымообразующая способность и токсичность продуктов сгорания древесных материалов при поверхностном модифицировании элементоорганическими соединениями . . . . . | 10               | 40   |
| <b>Пузач С. В., Сулейкин Е. В., Акперов Р. Г., Дутов В. И.</b> Повышение достоверности экспериментальных методов определения показателя токсичности веществ и материалов . . . . .                                                       | 2                | 29   |
| <b>Рудаков О. Б., Преображенский М. А., Калач А. В., Спичкин Ю. В.</b> Информационно-аналитическая система в оценке технико-эксплуатационных свойств жидких сред . . . . .                                                               | 4                | 22   |

| Фамилии авторов и название статей                                                                                                                                                                                                                                   | Номер<br>журнала | Стр. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|
| <b>Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О.</b> Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IX. Хлоралканы . . . . .                                                                                                         | 4                | 13   |
| <b>Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Калач А. В.</b> Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XI. Галогеналканы . . . . .                                                                                                            | 8                | 25   |
| <b>Сорокина Ю. Н., Черникова Т. В., Калач А. В., Калач Е. В., Пищальников А. В.</b> Влияние структуры молекулы на показатели пожароопасности азотсодержащих органических веществ . . . .                                                                            | 11               | 12   |
| <b>Ушков В. А., Лалаян В. М., Ломакин С. М., Невзоров Д. И.</b> Горючесть и дымообразующая способность полимерных композиционных материалов с разлагающимися минеральными наполнителями . . . . .                                                                   | 8                | 15   |
| <b>Ушков В. А., Лалаян В. М., Ломакин С. М., Невзоров Д. И.</b> О влиянии неразлагающихся наполнителей на воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных композиционных материалов . . . . .                                                              | 6                | 32   |
| <b>Ушков В. А., Лалаян В. М., Невзоров Д. И., Ломакин С. М.</b> О влиянии фталатных и фосфатных пластификаторов на воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных композиционных материалов . . . . .                                                     | 10               | 25   |
| <b>Ушков В. А., Лалаян В. М., Сокорева Е. В.</b> Распространение пламени по поверхности строительных пенопластов . . . . .                                                                                                                                          | 2                | 23   |
| <b>Швец Н. И., Застрогина О. Б., Барботько С. Л., Алексахин В. М.</b> Фенолформальдегидное связующее пониженной горючести . . . . .                                                                                                                                 | 5                | 26   |
| <b>ОГНЕЗАЩИТА</b>                                                                                                                                                                                                                                                   |                  |      |
| <b>Балакин В. М., Красильникова М. А., Стародубцев А. В., Пазникова С. Н., Ахметов Т. И., Целоусов Д. В., Смольников М. И.</b> Сравнительная оценка огнезащитных свойств фосфорсодержащих антипиренов на основе продуктов аминолита полиэтилентерефталата . . . . . | 4                | 29   |
| <b>Гравит М. В.</b> Оценка порового пространства пенококса огнезащитных вспучивающихся покрытий                                                                                                                                                                     | 5                | 33   |
| <b>Гравит М. В.</b> Цветовое исполнение для строительных конструкций с огнезащитными вспучивающимися покрытиями . . . . .                                                                                                                                           | 10               | 47   |
| <b>Жартовский В. М., Нижник В. В., Жартовский С. В., Добростан А. В.</b> Пассивная противопожарная защита деревянных конструкций куполов церквей с применением пропиточных составов                                                                                 | 3                | 31   |
| <b>Жартовский С. В.</b> Системный подход к созданию противопожарной защиты объекта с использованием водных огнезащитных и огнетушащих веществ . . . . .                                                                                                             | 9                | 25   |
| <b>Огнезащита “БИЗОН” — уверенность в надежности</b> . . . . .                                                                                                                                                                                                      | 4                | 33   |
| <b>Продукция компании Roshal Group — первое звено прочной брони</b> . . . . .                                                                                                                                                                                       | 7                | 45   |
| <b>Рудзинский В. П., Гаращенко А. Н., Гаращенко Н. А.</b> Теплотехнические расчеты двухмерных температурных полей в конструкциях из полимерных композитов со вспучивающимся огнезащитным покрытием . . . . .                                                        | 8                | 42   |
| <b>Сарымсаков А. А., Йулдошов Ш. А., Усманов М. Х., Джураев С. М.</b> Наполненные древесностружечные плиты с пониженной горючестью . . . . .                                                                                                                        | 8                | 38   |
| <b>Трифонов О. Н.</b> Оптимизация огнезащиты металлических конструкций . . . . .                                                                                                                                                                                    | 1                | 58   |
| <b>ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ</b>                                                                                                                                                                                                                       |                  |      |
| <b>Голиков А. Д., Черкасов Е. Ю., Григорьев Д. М.</b> Прогнозирование предела огнестойкости стен зданий с температурными швами, заполненными огнестойкой пеной . . . . .                                                                                            | 8                | 48   |
| <b>Мешерин С. А., Кириллов И. А., Клименко С. В.</b> Метамоделю совместно используемого осознания ситуации для управления стойкостью сооружений повышенной ответственности . . . . .                                                                                | 6                | 40   |
| <b>Ройтман В. М.</b> Особенности проектирования огнестойкости конструкций и зданий при комбинированных особых воздействиях с участием пожара . . . . .                                                                                                              | 7                | 47   |
| <b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ</b>                                                                                                                                                                                                                                        |                  |      |
| <b>Колпаков В. Ф.</b> Синтез адаптивного алгоритма управления ликвидацией лесных пожаров . . . . .                                                                                                                                                                  | 11               | 17   |
| <b>Комяк В. М., Соболев А. Н., Комяк В. В.</b> Математическое и компьютерное моделирование противопожарной защиты объектов народного хозяйства . . . . .                                                                                                            | 10               | 54   |

| Фамилии авторов и название статей                                                                                                                                                                                              | Номер<br>журнала | Стр. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|
| <b>ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ</b>                                                                                                                                                                           |                  |      |
| Марков А. Г. Параметры разрядов статического электричества в диэлектрических емкостях . . . . .                                                                                                                                | 10               | 61   |
| <b>ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ<br/>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ</b>                                                                                                                                                   |                  |      |
| Горев В. А., Медведев Г. М. Кинетические и газодинамические причины аварийных взрывов водорода . . . . .                                                                                                                       | 11               | 24   |
| Колесников Е. Ю. О модельной неопределенности пожарного риска наземного резервуара с бензином. . . . .                                                                                                                         | 3                | 38   |
| Хафизов Ф. Ш., Бакиров И. К., Сулейманов И. Р. Влияние пенополиуретановой теплоизоляции, нанесенной с внутренней стороны стенки вертикального стального резервуара, на температурный режим стенки в условиях горения . . . . . | 6                | 52   |
| <b>ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ</b>                                                                                                                                                                      |                  |      |
| Бочкарев А. Н., Бочкарев И. А. Комплексные системы и методы обеспечения авиационной и пожарной безопасности на объектах транспорта . . . . .                                                                                   | 2                | 55   |
| Брюхань А. Ф., Брюхань Ф. Ф., Корольченко Д. А. О категориях газогеохимической опасности насыпных грунтов . . . . .                                                                                                            | 7                | 55   |
| Голиков А. Д., Черкасов Е. Ю. Распространение пожаров по пустотам в зданиях (литературный обзор материалов реферативного журнала серии “Пожарная безопасность” с 1982 по 2012 гг.) . . . .                                     | 9                | 37   |
| Горев В. А., Салымова Е. Ю. Влияние условий газообмена и начальной температуры на формирование опасных факторов пожара на начальной стадии его развития . . . . .                                                              | 1                | 63   |
| Захматов В. Д. Угроза государственной программе по энергетической независимости Украины — переводу газовых электростанций на угольную пыль. . . . .                                                                            | 8                | 63   |
| Киришев А. А. Разработка экспериментального стенда для оценки интенсивности испарения углеводородных жидкостей . . . . .                                                                                                       | 12               | 38   |
| Корнилов А. А. Оптимизация системы противопожарной защиты объекта посредством дифференцированной оценки вероятности возникновения пожара . . . . .                                                                             | 2                | 38   |
| Мурзинов В. Л., Паршин М. В., Паршина А. П. Моделирование температурного режима пожара с учетом работы вентиляции в негерметичном помещении . . . . .                                                                          | 6                | 56   |
| Новиков В. В., Цопов С. В. Проблемы обеспечения пожарной безопасности жилого сектора и пути их решения . . . . .                                                                                                               | 8                | 53   |
| Серебренников Д. С. Размещение зданий, сооружений и установок на площадках бурения поисково-оценочных и разведочных скважин нефтегазовых месторождений с учетом противопожарных норм . . . . .                                 | 4                | 35   |
| <b>БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ</b>                                                                                                                                                                                          |                  |      |
| Мурзинов В. Л. Моделирование временных характеристик устройства спасения падающих с высоты людей . . . . .                                                                                                                     | 9                | 44   |
| Самошин Д. А., Истратов Р. Н. Оценка уровня противопожарной подготовки сотрудников медико-реабилитационного учреждения на примере персонала больниц . . . . .                                                                  | 4                | 52   |
| Хоанг Тхо Дык, Корольченко А. Я. Выбор системы оповещения и управления эвакуацией при пожаре . . . . .                                                                                                                         | 1                | 69   |
| Хоанг Тхо Дык, Корольченко А. Я. Оборудование, применяемое в системах оповещения и управления эвакуацией . . . . .                                                                                                             | 4                | 57   |
| Хоанг Тхо Дык, Корольченко А. Я. Сопоставление эффективности проводных и беспроводных систем оповещения и управления эвакуацией . . . . .                                                                                      | 10               | 69   |
| Холщевников В. В. Влияние методов натурных наблюдений на определение числовых характеристик закона распределения расчетной величины скорости людского потока . . . . .                                                         | 8                | 71   |
| Холщевников В. В., Кудрин И. С. Обеспечение безопасной эвакуации людей с учетом стохастичности процесса распространения опасных факторов пожара в высотных зданиях . . . . .                                                   | 4                | 38   |

| Фамилии авторов и название статей                                                                                                                                                         | Номер<br>журнала | Стр. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|
| <b>Холщевников В. В., Кудрин И. С.</b> Экспериментальные исследования людских потоков в лестничной клетке многоэтажного здания . . . . .                                                  | 12               | 43   |
| <b>Холщевников В. В., Самошин Д. А., Истратов Р. Н.</b> Исследование проблем обеспечения пожарной безопасности людей с нарушением зрения, слуха и опорно-двигательного аппарата . . . . . | 3                | 48   |
| <b>Шархун С. В.</b> Средства оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре на основе сетевых технологий . . . . .                                                                   | 2                | 60   |
| <b>Шихалев Д. В., Хабибуллин Р. Ш.</b> Системы управления эвакуацией в зданиях торгово-развлекательных центров . . . . .                                                                  | 6                | 61   |

## СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

|                                                                                                                                                       |   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| <b>Захматов В. Д.</b> Пожар в Гостином Дворе — одной из главных исторических ценностей Подола — самого старого района Киева . . . . .                 | 5 | 39 |
| <b>Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А.</b> Индекс материального ущерба от пожаров в сельской местности в Российской Федерации за 2006–2010 годы . . . . . | 7 | 59 |
| <b>Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А.</b> Индекс числа лесных пожаров в Российской Федерации за 2006–2010 годы . . . . .                                 | 5 | 45 |

## ПОЖАРНАЯ ОХРАНА

|                                                                                                                                                                                                           |   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| <b>Барановский Н. В.</b> Рабочая программа дисциплины “Приборы и системы для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности” по направлению обучения магистров “Пожарная безопасность” . . . . . | 9 | 49 |
| <b>Таранцев А. А.</b> О проблеме размещения вновь создаваемых пожарных частей на территориях регионов . . . . .                                                                                           | 5 | 52 |

## ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

|                                                                                                                             |   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|
| <b>Козубовский В. Р., Федак М. В.</b> Проблемы разработки и внедрения в производство газовых пожарных извещателей . . . . . | 7 | 64 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|

## ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

|                                                                                                                                                                                                               |    |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| <b>Алешков М. В.</b> Особенности тушения крупных пожаров на территории Российской Федерации при внешнем воздействии опасных природных явлений . . . . .                                                       | 5  | 59 |
| <b>Белоусов В. С., Савин М. А., Саркисов С. В.</b> Эксергетическая оценка эффективности использования теплоты для самоподогрева воды насосом пожарного автомобиля . . . . .                                   | 2  | 65 |
| <b>Горбань Ю. И., Горбань М. Ю., Синельникова Е. А.</b> Установки автоматического пожаротушения на базе лафетных стволов с осцилляторами для защиты объектов энергетики . . . . .                             | 1  | 76 |
| <b>Дашко Л. В., Довбня А. В., Ключников В. Ю., Плотникова Г. В.</b> Применение методов термического анализа при исследовании влияния температуры на фрикционную основу тормозных колодок автомобиля . . . . . | 6  | 68 |
| <b>Зарубин В. П., Киселев В. В., Топоров А. В., Пучков П. В., Мельников А. А.</b> Перспективы применения нанопорошков силикатов в смазочных материалах, используемых в пожарной технике . . . . .             | 5  | 65 |
| <b>Захматов В. Д.</b> История и перспективы разработки пожарных машин на военных гусеничных и колесных шасси . . . . .                                                                                        | 11 | 31 |

## СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

|                                                                                                                                                                                                      |    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| <b>Алешков М. В., Кузьменко К. П., Инчиков В. П.</b> Перспектива применения установок газового пожаротушения на основе диоксида углерода для тушения пожаров на объектах электроэнергетики . . . . . | 11 | 43 |
| <b>Анцупов Е. В., Родивилов С. М.</b> Тушение пропан-воздушного пламени гидрокарбонатами натрия и калия . . . . .                                                                                    | 11 | 64 |
| <b>Битуев Б. Ж.</b> Проблемы противопожарной защиты резервуаров с новыми евротопливами . . . . .                                                                                                     | 7  | 75 |
| <b>Брушлинский Н. Н., Карпов В. Л., Курбанов А. Х., Усманов М. Х., Шимко В. Ю.</b> Инновационная технология ослабления тепловых и газовых потоков . . . . .                                          | 5  | 71 |

| Фамилии авторов и название статей                                                                                                                                                                    | Номер<br>журнала | Стр. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|
| <b>Булва А. Д.</b> Применение водяных завес для ограничения распространения опасных примесей в атмосфере . . . . .                                                                                   | 9                | 74   |
| <b>Виноградов А. Г.</b> Поглощение теплового излучения водяными завесами. Часть 2 . . . . .                                                                                                          | 4                | 72   |
| <b>Виноградов А. Г.</b> Учет спектрального состава теплового излучения при расчете коэффициента пропускания капли воды . . . . .                                                                     | 9                | 64   |
| <b>Виноградов А. Г.</b> Экранирование теплового излучения полидисперсными водяными завесами                                                                                                          | 6                | 74   |
| <b>Гурьев Ю. В., Ткаченко И. В., Еремин Ю. С.</b> Использование методов численного моделирования в проектировании оросителей автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой . . . . . | 2                | 78   |
| <b>Динь Конг Хынг, Корольченко А. Я., Охроменко А. С.</b> Пожаротушение тонкораспыленной водой в отсеках высотного здания . . . . .                                                                  | 3                | 63   |
| <b>Дмитриев О. В., Мисников О. С., Попов В. И.</b> Исследование свойств огнетушащих порошковых составов, модифицированных гидрофобными добавками на основе торфяного сырья . . . . .                 | 5                | 81   |
| <b>Думилин А. И.</b> Параметры тушения пламени горючих жидкостей распыленной водой . . . . .                                                                                                         | 4                | 85   |
| <b>Думилин А. И.</b> Тушение пламени горючих жидкостей охлаждением их поверхности распыленной водой . . . . .                                                                                        | 8                | 81   |
| <b>Жартовский С. В., Нижник В. В., Уханский Р. В.</b> Активная противопожарная защита деревянных конструкций куполов церквей с применением водных огнетушащих веществ . . . . .                      | 4                | 65   |
| <b>Кряжич О. А., Захматов В. Д.</b> Модели управления импульсной взрывопожарной защитой химического предприятия . . . . .                                                                            | 1                | 81   |
| <b>Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.</b> Оценка эффективности использования теплоты испарения воды при тушении лесных пожаров . . . . .                                                                  | 9                | 57   |
| <b>Ланин Д. Г., Поляков Д. В., Цариченко С. Г.</b> Обоснование выбора средства пожаротушения для электрических кабелей . . . . .                                                                     | 2                | 73   |
| <b>Меркулов В. А., Кузьменко К. П., Кирсанов А. И.</b> Тушение диоксидом углерода пожаров в вертикальных стальных резервуарах с нефтью и нефтепродуктами . . . . .                                   | 3                | 58   |
| <b>Серебренников С. Ю., Прохоренко К. В., Чернов С. В., Грубиян М. Б.</b> Тушение взрывчатых веществ и твердых ракетных топлив аэрозольно-порошковым методом . . . . .                               | 11               | 49   |
| <b>Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А.</b> Влияние дисперсности капель воды на эффективность тушения пожаров горючей жидкости . . . . .                                                            | 12               | 69   |
| <b>Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А.</b> Тушение горючих жидкостей распыленной водой . . . . .                                                                                                   | 11               | 70   |
| <b>Шаршанов А. Я., Абрамов Ю. А., Киреев А. А.</b> Моделирование поведения капель компонентов гелеобразующих огнетушащих систем в высокотемпературной области . . . . .                              | 11               | 57   |
| <b>Шимко В. Ю.</b> Использование водопеночных теплозащитных экранов для защиты от теплового излучения при горении проливов сжиженного природного газа . . . . .                                      | 12               | 63   |
| <b>ДИСКУССИИ</b>                                                                                                                                                                                     |                  |      |
| <b>Безродный И. Ф.</b> Экология пожаротушения — пока это только слова . . . . .                                                                                                                      | 6                | 85   |
| <b>Бочаров В. В., Раевская М. В.</b> Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях — “второе пришествие” галогенорганики с наихудшим сценарием развития для обитателей Земли                | 10               | 75   |
| <b>Дубинин М. П., Афанасьев Н. В., Жуков В. В.</b> Развитие института независимой оценки пожарного риска . . . . .                                                                                   | 3                | 69   |
| <b>Дубинин М. П., Жуков В. В.</b> Основные причины плачевных результатов независимой оценки пожарного риска . . . . .                                                                                | 7                | 80   |
| <b>Ландышев Н. В.</b> Сколько в доме первых этажей? (О формулировках в нормативных документах)                                                                                                       | 11               | 80   |
| <b>Таранцев А. А.</b> Методы расчетной оценки динамики пожаров в помещениях . . . . .                                                                                                                | 3                | 82   |
| <b>Тимошин В. С.</b> Пожарная безопасность в плену проблем . . . . .                                                                                                                                 | 11               | 75   |
| <b>ВОПРОС – ОТВЕТ</b>                                                                                                                                                                                | 1–12             |      |

[www.ognebioz.ru](http://www.ognebioz.ru)

[О проекте](#)

[Средства ОБЗ](#)

[Производители](#)

[Средства  
для нанесения](#)

[Контакты](#)

# Информационный портал **Средства огне- и биозащиты**

Все об огне- и биозащите  
древесины, металла,  
тканей и кабельных изделий



*Капля сегодня —  
уверенность завтра*

- Подробное описание каждого состава и его особенностей
- Координаты производителей
- Координаты поставщиков сырья и оборудования
- Нормативные требования

**ognebioz.ru**

Тел.: (495) 228-09-03



ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

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

# ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

**Справочное пособие**

М. : ООО «Издательство «Пожнаука», 2012. – 222 с.



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

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

- 1 **Сводь правил. Системы противопожарной защиты** (электронная версия). — 2011. Цена 500 руб.
- 2 **Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"**. — 2010. — 150 с. Цена 220 руб.
- 3 АНТОНЕНКО А. А., БУЦЫНСКАЯ Т. А., ЧЛЕНОВ А. Н. **Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения объектов: учебно-справочное пособие**. — 2010. — 220 с. — ISBN 978-5-91444-017-3. Цена 380 руб.
- 4 АСЕЕВА Р. М., СЕРКОВ Б. Б., СИВЕНКОВ А. Б. **Горение древесины и ее пожароопасные свойства: монография**. — 2011. — 262 с. — ISBN 978-5-9229-0045-4. Цена 350 руб.
- 5 БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Моделирование пожаров и взрывов**. — 2000. — 492 с. Цена 540 руб.
- 6 ГОРБАНЬ Ю. И. **Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране**. — 2013. — 352 с.: ил. — ISBN 978-591444-023-8. Цена 450 руб.
- 7 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Процессы горения и взрыва: учебник**. — 2007. — 266 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-001-2. Цена 450 руб.
- 8 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ЗАГОРСКИЙ Д. О. **Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности**. — 2010. — 118 с. — ISBN 978-5-91444-015-9. Цена 250 руб.
- 9 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие**. — 2011. — 320 с. — ISBN 978-591444-021-X. Цена 350 руб.
- 10 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие [Электронная версия]**. — 2011. Цена 300 руб.
- 11 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огнезащиты**. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-010-4. Цена 540 руб.
- 12 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огне- и биозащиты**. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с. БЕСПЛАТНО.
- 13 КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ГРОМОВОЙ В. Ю. **Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение**. — 2010. — 94 с. — ISBN 978-5-91444-014-02. Цена 140 руб.
- 14 ПИЛЮГИН Л. П. **Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций**. — 2000. — 224 с.: ил. — ISBN 5-901283-03-1. Цена 240 руб.
- 15 ПИЛЮГИН Л. П. **Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов**. — 2010. — 380 с. — ISBN 978-5-91444-016-6. Цена 450 руб.
- 16 СМЕЛКОВ Г. И., ЧЕРКАСОВ В. Н., ВЕРЕВКИН В. Н., ПЕХОТИКОВ В. А., РЯБИКОВ А. И. **Электроустановки во взрывопожароопасных зонах: справочное пособие**. — 2012. — 222 с. — ISBN 978-5-91444-022-X. Цена 300 руб.
- 17 ЧЕРКАСОВ В. Н., ЗЫКОВ В. И. **Обеспечение пожарной безопасности электроустановок: учебное пособие**. — 2010. — 406 с. — ISBN 978-5-91444-020-3. Цена 470 руб.

#### СУПЕРСКИДКИ

- 1 СОБУРЬ С. В. **Заполнение проемов в противопожарных преградах: пособие**. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с. — ISBN 5-98629-005-4. Цена 90 руб.
- 2 СОБУРЬ С. В. **Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: справочник**. — 2005. — 88 с. — ISBN 5-98629-004-6. Цена 36 руб.
- 3 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ГРАЧЕВ В. А. **Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: учебное пособие**. — 2007. — 383 с. — ISBN 5-903049-09-5. Цена 220 руб.
- 4 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Леса, торфяники, лесосклады**. — 2007. — 358 с. — ISBN 5-903049-12-5. Цена 220 руб.
- 5 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: учебное пособие**. — 2007. — 325 с. — ISBN 5-903049-11-7. Цена 220 руб.

■ Адрес: 121352, г. Москва, а/я 43. Заказ книг: тел.: (495) 228-09-03, 8-909-940-01-85; e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru; www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

- В бланке заказа на приобретение книг просьба указать:
- 1) название организации полностью;
  - 2) реквизиты (ИНН/КПП обязательно);
  - 3) наименование и количество заказываемой литературы;
  - 4) почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо;
  - 5) способ доставки: самовывоз или по почте.

■ **ВНИМАНИЕ!!!** Цены указаны без стоимости доставки, которая составляет 25 % стоимости заказа.

■ **Постоянным покупателям предоставляются скидки!**

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 1-е полугодие 2014 г.

Подписка на полугодие включает в себя  
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.  
Стоимость полугодовой подписки составляет 4950 руб. (НДС — 0 %).



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА  
на журнал

**ПОЖАРОВЗРЫВО-**  
**БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

### КУПОН '2014

| Издание                                                      | Цена подписки,<br>руб. | Количество<br>экземпляров | Стоимость<br>подписки, руб. |
|--------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Журнал “Пожаровзрывобезопасность”<br>(1-е полугодие 2014 г.) | <b>4950</b>            |                           |                             |

- ☐ Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.  
В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим прислать также карточку Вашей организации. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru в отдел распространения.
- ☐ Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:  
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”  
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, а/я 43  
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001  
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва  
К/с 30101810400000000555  
БИК 044525555  
Главный редактор — Корольченко Александр Яковлевич

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам  
(495) 228-09-03, 8-909-940-01-85**

### ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

через ООО “Издательство “Пожнаука”;  
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;  
через агентство “АПР”, индекс 83647  
(в любом почтовом отделении в каталоге  
“Газеты и журналы”);

через подписные агентства:  
ООО “Интер-Почта 2003”, ООО “ИНТЕР-ПОЧТА-РЕГИОН”,  
ООО “Урал-Пресс XXI”, ООО “Информнаука”,  
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”



# Sfiteх

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

ufi  
Approved  
Event

11-14  
НОЯБРЯ | 2014

Место проведения:

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ



РЕКЛАМА

## 23-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА **ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ**

- ⊗ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
- ⊗ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
- ⊗ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ
- ⊗ **NEW!** ГАДЖЕТЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**IS.CS**

5-я Специализированная выставка  
«Информация: техника и технологии защиты»

Организаторы:



primexpo



ITE GROUP PLC

+7 (812) 380 6009/00, security@primexpo.ru

[www.sfiteх.ru](http://www.sfiteх.ru)