

12-2014

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСН СТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

*Успехов
в Новом
Году!*



КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



Уважаемые читатели и коллеги!

*П*римите наилучшие пожелания в наступающем году — здоровья, успехов в работе и личной жизни.

Одна из важнейших областей человеческой деятельности, в которой мы вместе с Вами работаем, — обеспечение пожарной безопасности. Со временем это направление не теряет своей актуальности, а напротив, по мере развития технологий требует все больших усилий.

Вот уже более 20 лет издается научно-технический журнал “Пожаровзрывобезопасность”. Созданный группой энтузиастов Всесоюзного научно-исследовательского института противопожарной обороны МВД СССР как рупор и пропагандист новых идей и разработок в области теории горения и тушения пожаров, этот журнал превратился в трибуну, объединяющую специалистов по пожарной безопасности России, стран СНГ и других европейских стран. На страницах журнала публикуют свои разработки сотрудники ВНИИПО МЧС России, Академии ГПС МЧС России, Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, Уральского, Воронежского, Ивановского институтов ГПС МЧС России, многих других предприятий и организаций, имеющих существенные достижения в различных областях науки о пожарной безопасности, таких как: теория горения, создание огнестойких материалов и строительных конструкций, огнезащита, обнаружение пожаров и эвакуация людей при их возникновении, средства и способы их тушения. Достижения в этих областях демонстрируют на страницах журнала представители научных школ Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга, Казани, Уфы, Томска и многих других городов.

К сожалению, статистика пожаров в нашей стране подтверждает необходимость продолжения усилий в сфере обеспечения пожарной безопасности зданий и находящихся в них людей.

Так, по данным МЧС России за 9 месяцев 2014 г. произошло порядка 109 тысяч пожаров, на которых погибло 6831 человек и получили травмы 8001 человек, т. е. воздействию опасных факторов пожара (только по данным официальной статистики) за год подверглись около 15 тысяч человек, что почти в 100 раз превышает допустимые по действующему закону показатели. Такая ситуация выделяет Россию среди других стран мира. И это несмотря на то что наши противопожарные нормы не менее требовательны, чем нормы других стран Европы, Азии и Америки.

Почему же статистика пожаров в нашей стране имеет столь удручающий характер? Вновь обратимся к ней. По имеющимся данным основными причинами пожаров в России являются: неосторожное обращение с огнем, нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования, т. е. человеческий фактор (ошибки, допускаемые людьми при обеспечении требований пожарной безопасности). У всех на памяти трагический случай — пожар в новом доме повышенной этажности в центре Красноярска в начале осени. Неосторожное обращение с огнем одного из жителей дома во время ремонта и стало по предварительной версии причиной пожара. Вспыхнул фасад дома, хотя согласно требованиям строительных норм он должен быть сделан из негорючих материалов! До момента проникновения пожара внутрь дома люди успели эвакуироваться на улицу и наблюдали фантастическое зрелище — пылающий дом-факел в центре Красноярска. Позднее выяснилось, что таких однотипных домов в Красноярске построено 16, а по всей России — более сотни, и уже в некоторых из них (в Москве, Чеченской Республике и других регионах) случились подобные пожары.

Таким образом, статистика пожаров в России свидетельствует о том, что нельзя прекращать усилия по предотвращению пожаров в таких (и подобных им) зданиях. От успехов в сфере обеспечения пожарной безопасности зависит благополучие и жизнь наших сограждан.

*С наилучшими пожеланиями,
главный редактор*

А. КОРОЛЬЧЕНКО



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

ХАРЛАМЕНКОВ А. С.
Гармонизация национальных
и международных стандартов в области
обеспечения пожаровзрывобезопасности объектов

5

KHARLAMENKOV A. S.
Harmonization of national
and international standards in the field
of fire and explosion safety objects

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ Веществ и материалов

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

АЛЕКСЕЕВ С. Г., КОШЕЛЕВ А. Ю., БАРБИН Н. М.
Связь показателей пожарной опасности
с химическим строением. XVI. α, ω -Аминоспирты

13

ALEXEEV S. G., KOSHELEV A. Yu., BARBIN N. M.
Correlation of fire hazard characteristics
with chemical structure. XVI. α, ω -Aminoalcohols

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

ГОЛИКОВ А. Д., ЧЕРКАСОВ Е. Ю.,
ДАНИЛОВ А. И., СИВАКОВ И. А.
Предел огнестойкости конструкций чугунных тоннельных
обделок метрополитена без огнезащитных покрытий

20

GOLIKOV A. D., CHERKASOV E. Yu.,
DANILOV A. I., SIVAKOV I. A.
Fire resistance of cast iron tunnel lining
without fireproof covering

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

FIRE MODELING

МУРЗИНОВ В. Л., ПАРШИН М. В.
Моделирование температуры в помещении при наличии
открытого пламени в условиях свободной конвекции

28

MURZINOV V. L., PARSHIN M. V.
Modeling of temperature in the room at presence
of the open flame in conditions of free convection

БАРБИН Н. М., ШАВАЛЕЕВ М. Р.,
ТЕРЕНТЬЕВ Д. И., АЛЕКСЕЕВ С. Г.
Термодинамическое моделирование поведения
радиоизотопов при нагреве (сжигании)
радиоактивного графита в атмосфере азота

34

BARBIN N. M., SHAVALEEV M. R.,
TERENTYEV D. I., ALEXEEV S. G.
Thermodynamic modeling of radionuclide behavior
during heating (burning) of radioactive graphite
in the nitrogen atmosphere

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

ПАРФЁНЕНКО А. П.
Методология моделирования людских потоков
и практика программирования их движения
при эвакуации

46

PARFYENENKO A. P.
Methodology for modeling human movements
and practice of programming their movement
during evacuation

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

FIRE AUTOMATIC

ГОРБАНЬ Ю. И.
Пожарные роботы и ствольная пожарная
техника в пожарной автоматике и пожарной охране.
V. Пожарная робототехника

56

GORBAN Yu. I.
Fire robots and fire monitors in automatic
fire fighting and fire prevention.
V. Fire robotics

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ШАРОВАРНИКОВ А. Ф.
Анализ двойственного механизма тушения пламени

59

KOROL'CHENKO D. A., SHAROVARNIKOV A. F.
Analysis of the dual fire suppression mechanism

ПИВОВАРОВ Н. Ю., ТАРАНЦЕВ А. А.
Моделирование водоотдачи кольцевых сетей
наружного противопожарного водопровода

69

PIVOVAROV N. Yu., TARANTSEV A. A.
Modeling water loss of ring networks external
fire water supply

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ОВСЯННИКОВ Е. А.,
ШАРОВАРНИКОВ А. Ф.
Полидисперсная пена высокой кратности при тушении
розливов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей

76

KOROL'CHENKO D. A., OVSYANNIKOV E. A.,
SHAROVARNIKOV A. F.
Polydisperse high expansion foam while extinguishing spills
of flammable and combustible liquids

ВОПРОС – ОТВЕТ

QUESTION – ANSWER

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЗА 2014 г.
ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2014 г.

84

AUTHORS INDEX

90

GUIDE INDEX OF THE ARTICLES
PUBLISHED IN 2014

СМИ зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций —
свидетельство ПИ № ФС77-43615 от 18 января 2011 г.

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей
ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). 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.



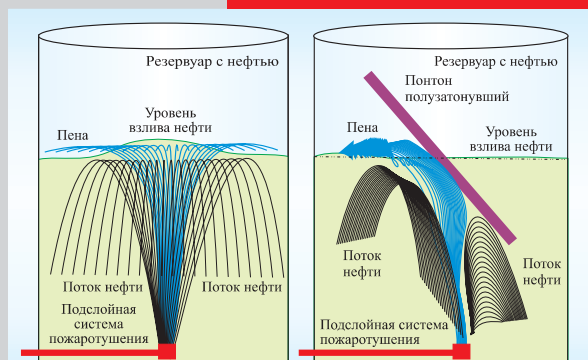
Стандарты по определению взрывоопасных зон



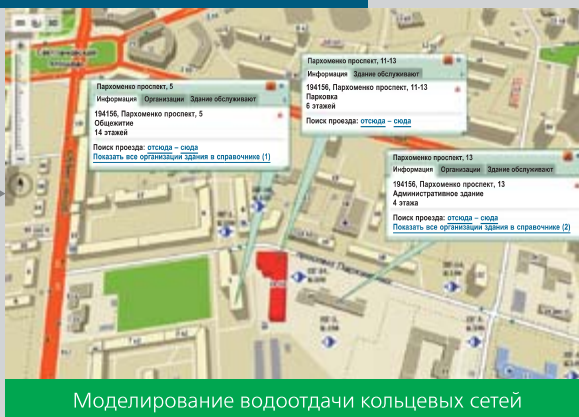
Методология моделирования людских потоков



Пожарная робототехника



Анализ двойственного механизма тушения пламени



Моделирование водоотдачи кольцевых сетей

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)

Горбань Ю. И., генеральный директор – главный конструктор (Россия)

Кириханцев Е. Е., к. т. н., профессор (Россия)

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

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

Адрес редакции: 121108, Россия, г. Москва, ул. Ивана Франко, д. 4, корп. 10 (фактический); 121352, г. Москва, а/я 43 (почтовый).

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

Подписано в печать 12.12.2014. Выход в свет 25.12.2014.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "КОДА"

(105082, Россия, г. Москва, Спартаковский пер., д. 2, стр. 1).

**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:

Ivana Franko St., 4/10, Moscow,
121108, Russia.

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia.

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

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

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

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)

Gorban Yu. I.,

General Director – Chief Designer (Russia)

Kiryukhantsev Ye. Ye.,

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Korol'chenko D. A.,

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

Tamrazyan A. G.,

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

"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 12.12.2014

Date of publication 25.12.2014

Format is 60x84 1/8

Printing is 5 000 copies

Chalk-overlay mat paper

Offset printing

А. С. ХАРЛАМЕНКОВ, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: h_a_s@live.ru)

УДК 614.841.12:006.354

ГАРМОНИЗАЦИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ

Дается анализ основных российских и международных стандартов, устанавливающих требования к оценке и классификации взрывоопасных зон. Сравниваются степени соответствия требованиям по определению взрывоопасных зон данных нормативных документов. Анализируется различие приведенных в них терминов и определений, критериев и параметров. Приводятся данные по новым изданиям международных стандартов; проводится оценка их совместного применения ввиду использования различных методик оценки классов и размеров взрывоопасных зон. Делается вывод о необходимости систематизации существующих методов оценки размеров взрывоопасных зон и гармонизации их с действующими нормативными документами Российской Федерации в данной области.

Ключевые слова: взрывоопасные зоны; классы зон; Эк-оборудование; методы оценки размеров взрывоопасных зон; гармонизация стандартов.

На сегодняшний день сложилась непростая ситуация в области классификации взрывоопасных зон и выбора соответствующего взрывозащищенного электрооборудования для них. С момента вступления России во Всемирную торговую организацию (ВТО) и образования Таможенного союза появилась необходимость переработки нормативной документации в области обеспечения пожаровзрывобезопасности объектов с целью гармонизации их с международными стандартами.

В России классификация взрывоопасных зон осуществляется сразу по трем нормативным документам.

1. Для объектов, введенных в эксплуатацию до вступления в силу Федерального закона № 123-ФЗ [1] (далее — 123-ФЗ), взрывоопасные зоны оцениваются по ПУЭ [2] и делятся на следующие классы:

- **В-I** — зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы (ГГ) или пары легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т. п.;
- **В-Ia** — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси ГГ (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возмож-

ны только в результате аварий или неисправностей;

- **В-Iб** — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси ГГ или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей и которые отличаются одной из следующих особенностей, указанных в п. 7.3.42 ПУЭ [2];
- **В-Iг** — пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих ГГ или ЛВЖ (за исключением наружных аммиачных компрессорных установок); надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры); эстакад для слива и налива ЛВЖ; открытых нефтеловушек; прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.; пространства у проемов за наружными ограждающими конструкциями помещений со взрывоопасными зонами классов В-I, В-Ia и В-II (за исключением проемов окон с заполнением стеклблоками); пространства у наружных ограждающих конструкций, если на них расположены устройства для выброса воздуха из систем вытяжной вентиляции помещений со взрывоопасными зонами любого класса или если они находятся в пределах наружной взрывоопасной зоны; пространства у предохранительных и дыхательных клапанов емкостей и технологических аппаратов с ГГ и ЛВЖ. Размеры зоны класса В-Iг выбираются согласно п. 7.3.44 ПУЭ [2];

- **В-II** — зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов);
- **В-IIа** — зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовывать с воздухом взрывоопасные смеси только в результате аварий или неисправностей.

Выбор классов зон по ПУЭ [2] зависит только от типа горючего вещества (ГГ, ЛВЖ, горючие пыли или волокна), режима работы технологического оборудования (нормальный или аварийный) и от места образования взрывоопасной смеси (внутри или снаружи помещения).

2. Для объектов иностранных государств, расположенных на территории РФ, взрывоопасные зоны оцениваются по международным стандартам ГОСТ IEC 60079–10 [3, 4] и делятся на следующие классы:

0 — зона, в которой взрывоопасная газовая среда (смесь с воздухом горючих веществ в виде газа, пара или тумана) присутствует постоянно, или в течение длительных периодов времени, или часто (т. е. зона может присутствовать только в пределах корпусов технологического оборудования);

1 — зона, в которой существует вероятность образования взрывоопасной газовой среды (смеси с воздухом горючих веществ в виде газа, пара или тумана) в нормальных условиях эксплуатации (т. е. когда установка работает согласно расчетным параметрам);

2 — зона, в которой вероятность образования взрывоопасной газовой среды (смеси с воздухом горючих веществ в виде газа, пара или тумана) в нормальных условиях эксплуатации маловероятна, а если она возникает, то существует непродолжительное время;

20 — зона, в которой взрывоопасная пылевая среда в виде облака горючей пыли в воздухе присутствует постоянно, часто или в течение длительного периода времени;

21 — зона, в которой время от времени вероятно появление взрывоопасной пылевой среды в виде облака горючей пыли в воздухе при нормальном режиме эксплуатации;

22 — зона, в которой маловероятно появление взрывоопасной пылевой среды в виде облака горючей пыли в воздухе при нормальном режиме

эксплуатации, а если горючая пыль появляется, то сохраняется только в течение короткого периода времени.

В отличие от классификации зон по ПУЭ [2] в стандартах Международной электротехнической комиссии (IEC) [3, 4] деление взрывоопасных зон на классы осуществляется по временному критерию. При этом оно зависит от частоты и длительности присутствия взрывоопасной смеси и не зависит от места ее образования, поэтому одна и та же зона может существовать как внутри помещения, так и за его пределами.

Время присутствия взрывоопасной среды имеет размытые границы, так как характеризуется словами “постоянно”, “длительные периоды времени” и “непродолжительное время”, что не позволяет установить четкие временные границы между классами зон.

По практике, рекомендованной Американским институтом нефти (API RP 505) [5], длительность присутствия взрывоопасных зон классов 0, 1 и 2 имеет более конкретные значения:

- *зона класса 0* — пространство, в котором взрывоопасная газовая среда может присутствовать *1000 ч в год и более*;
- *зона класса 1* — пространство, в котором взрывоопасная газовая среда может присутствовать *от 10 до 1000 ч в год*;
- *зона класса 2* — пространство, в котором взрывоопасная газовая среда может присутствовать *от 1 до 10 ч в год*.

Многие специалисты считают, что классификация зон по предлагаемому в API RP 505 [5] способу не всегда удобна для применения в проектной практике.

Кроме того, согласно итальянскому руководству по классификации взрывоопасных газовых сред CEI 31-35 [6] длительность присутствия взрывоопасной среды взаимосвязана с вероятностью образования взрывоопасной смеси P (см. таблицу).

Класс зоны	Вероятность присутствия взрывоопасной среды за год (365 дней)	Общая продолжительность утечки (взрывоопасной среды) за год (365 дней), ч
0	$P > 10^{-1}$	Более 1000
1	$10^{-1} \geq P > 10^{-3}$	Более 10 до 1000
2*	$10^{-3} \geq P > 10^{-5}$	Более 0,1 до 10**

* В случае если длительность утечки за год не превышает 0,1 ч, зона считается, как правило, неопасной при условии, что за год происходит более одной утечки. При этом необходимо периодически проводить анализ оценки рисков.

** В случае если достоверные данные о неисправностях отсутствуют, можно предположить, что, по крайней мере, один случай утечки, вероятно, произойдет в течение одного года.

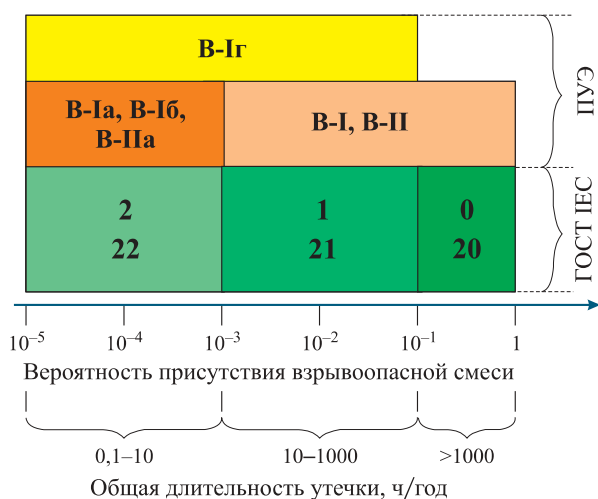


Рис. 1. Условная взаимосвязь классов зон по ПУЭ [2] и ГОСТ IEC [3, 4] с учетом требований СЕИ 31-35 [6]

На основании вышеизложенной информации можно выполнить условное сопоставление классов взрывоопасных зон по ПУЭ [2] и ГОСТ IEC [3, 4] (рис. 1). Такое сопоставление позволяет провести экспресс-оценку классов зон при замене “старого” взрывозащищенного оборудования (Ex-оборудование) “новым”, маркируемым по международным стандартам.

Помимо времени присутствия взрывоопасной среды, большое влияние на выбор класса зоны по ГОСТ IEC [3, 4] оказывает частота, степень и интенсивность утечки горючего вещества, а также уровень и готовность вентиляции.

Под *уровнем вентиляции* подразумевается интенсивность проветривания места утечки, или, другими словами, скорость разбавления воздухом взрывоопасного пара или газа в зоне утечки. Чем интенсивнее проветривается (разбавляется воздухом) взрывоопасная зона, тем более высоким является уровень вентиляции.

Под *готовностью вентиляции* подразумевается время работы либо проветривания помещения или места утечки. Это понятие распространяется на естественную и на искусственную вентиляцию. Готовность естественной вентиляции — это, по сути, время присутствия потоков воздуха, создаваемых ветром у места утечки. Если место утечки постоянно проветривается, то готовность вентиляции хорошая и т. д. Готовность искусственной вентиляции — это, по сути, время работы оборудования, которое создает потоки воздуха в зоне утечки. Если оборудование работает постоянно, то готовность искусственной вентиляции хорошая и т. д.

В ПУЭ [2] рассматривается образование взрывоопасной зоны в условиях неподвижной воздушной среды, поэтому возможность снижения класса зоны за счет использования вентиляции отсутствует. Та-

ким образом, система классификации зон по ГОСТ IEC [3, 4] является более гибкой в отличие от системы классификации зон по ПУЭ [2].

3. Для объектов, введенных в эксплуатацию после вступления в силу 123-ФЗ [1], выбор взрывоопасных зон осуществляется согласно требованиям данного закона [1], а проблема совместимости решается простым объединением определений классов зон по ПУЭ [2] и ГОСТ IEC [3, 4]. Обозначения классов зон взяты из международных стандартов [3, 4]*, а их определения в основном из ПУЭ [2]:

0-й класс — зоны, в которых взрывоопасная смесь газов или паров жидкостей с воздухом присутствует постоянно или хотя бы в течение одного часа**;

1-й класс — зоны, в которых при нормальном режиме работы оборудования выделяются ГГ или ЛВЖ, образующие с воздухом взрывоопасные смеси;

2-й класс — зоны, в которых при нормальном режиме работы оборудования не образуются взрывоопасные смеси газов или паров жидкостей с воздухом, но возможно образование такой взрывоопасной смеси газов или паров жидкостей с воздухом только в результате аварии или повреждения технологического оборудования;

20-й класс — зоны, в которых взрывоопасные смеси горючей пыли с воздухом имеют нижний концентрационный предел воспламенения менее 65 г/м^3 и присутствуют постоянно;

21-й класс — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна, способные образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при концентрации 65 г/м^3 и менее***;

22-й класс — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальном режиме работы оборудования не образуются взрывоопасные смеси горючих пылей или волокон с воздухом

* Помимо международного стандарта ГОСТ IEC [3], на территории РФ действует идентичный ему ГОСТ 30852.9 [7], включенный в перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований 123-ФЗ [1].

** Время присутствия взрывоопасной смеси в течение часа принято условно и не имеет научного обоснования, поэтому не следует руководствоваться этим параметром на практике при оценке класса зоны 0.

*** Действующий в 123-ФЗ [1] критерий 65 г/м^3 не применяется в международных стандартах, так как в европейских странах нет деления зон на взрывоопасные и пожароопасные, поэтому все смеси горючих пылей или волокон с воздухом являются опасными. Таким образом, этот способ формально позволяет решить вопрос классификации взрывоопасных зон.

при концентрации 65 г/м^3 и менее, но возможно образование такой взрывоопасной смеси горючих пылей или волокон с воздухом только в результате аварии или повреждения технологического оборудования.

Следует отметить, что согласно определениям зон по 123-ФЗ [1] зоны классов 0 и 2 могут быть образованы взрывоопасной смесью с воздухом ГГ, паров ЛВЖ и горючих жидкостей (ГЖ), нагретых до температуры вспышки и выше, а зона класса 1 — только смесью ГГ и паров ЛВЖ с воздухом. При этом зона класса 1 по ГОСТ ИЕС [3] может быть образована смесью ГГ, паров ЛВЖ и ГЖ с воздухом.

Важным отличием классификации зон по ПУЭ [2] и 123-ФЗ [1] от классификации зон по ГОСТ ИЕС [3, 4] является порядок их пространственного распределения.

Согласно документам [1, 2] в месте утечки характерно образование зон только одного класса в зависимости от условий возникновения утечки. При этом взрывоопасные зоны в помещении принимаются размером 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение ГГ и паров ЛВЖ, если объем взрывоопасной смеси равен или менее 5 % свободного объема помещения (см. п. 7.3.396 [2]). В случае если объем взрывоопасной смеси составляет более 5 % свободного объема помещения, взрывоопасная зона занимает весь объем помещения. Для наружных установок размеры взрывоопасных зон имеют точные размеры (0,5; 3; 5; 8 и 20 м) и зависят только от места формирования взрывоопасной среды (см. п. 7.3.44 [2]).

Отдельной методики для расчета объема взрывоопасной смеси (зоны) в национальных стандартах нет. Есть возможность оценивать объем взрывоопасной смеси (зоны) по ГОСТ Р 12.3.047 [8], СП 12.13130 [9] или методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [10] исходя из геометрических размеров взрывоопасной зоны, возникающей при аварийной ситуации.

Радиус $R_{\text{НКПР}}$ и высота $Z_{\text{НКПР}}$ взрывоопасной зоны при неподвижной воздушной среде определяются согласно ГОСТ Р 12.3.047 [8] по формулам*:

а) для ГГ:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33};$$

* Аналогичные формулы для расчета радиуса и высоты взрывоопасной зоны указаны также в методике [10]. В своде правил [9] приведены другие формулы для расчета зон. При этом нормы [8, 9] включены в перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований 123-ФЗ [1], что создает затруднения при использовании ими.

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \left(\frac{m_{\text{Г}}}{\rho_{\text{Г}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33};$$

б) для паров ЛВЖ:

$$R_{\text{НКПР}} = 7,8 \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33};$$

$$Z_{\text{НКПР}} = 0,26 \left(\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} C_{\text{НКПР}}} \right)^{0,33},$$

где $m_{\text{Г}}$ — масса ГГ, поступившего в открытое пространство при пожароопасной ситуации, кг (см. пп. А.1.2, А.2.5, А.2.6 прил. А [8]);

$\rho_{\text{Г}}$ — плотность ГГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг/м^3 ;

$m_{\text{п}}$ — масса паров ЛВЖ, поступивших в открытое пространство за время испарения, но не бо-

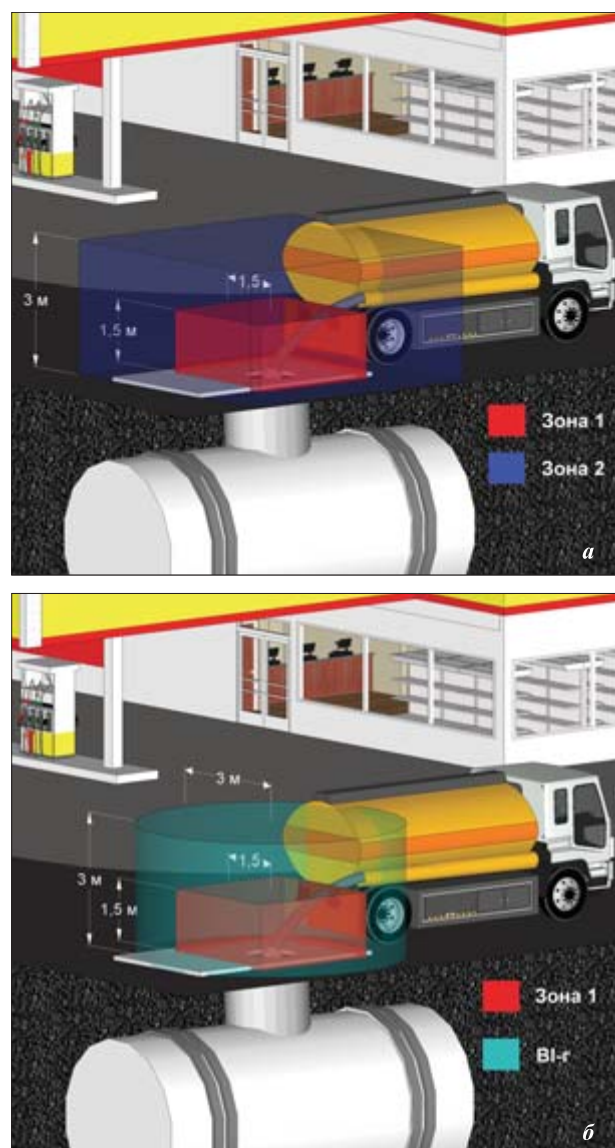


Рис. 2. Пример распределения взрывоопасных зон при операции слива бензина из автоцистерны на АЗС: а — по ГОСТ ИЕС [3]; б — по 123-ФЗ [1] и ПУЭ [2]

лее чем за 3600 с, кг (см. пп. А.1.2, А.2.5, А.2.7 прил. А [8]);

$\rho_{\text{п}}$ — плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре*, кг/м³;

$C_{\text{НКПР}}$ — нижний концентрационный предел распространения (НКПР) пламени ГГ или паров, % об.

Объем взрывоопасной зоны V можно рассчитать исходя из того, что зона представляет собой цилиндр с основанием радиусом $R_{\text{НКПР}}$ и высотой $Z_{\text{НКПР}}$, т. е.:

$$V = \pi R_{\text{НКПР}}^2 Z_{\text{НКПР}}.$$

В международном стандарте [3] представлен метод оценки гипотетического объема V_Z взрывоопасной зоны (исключая аварийную ситуацию) как в помещении, так и на открытой территории. Под величиной V_Z понимается объем, за пределами которого средняя концентрация взрывоопасной смеси газа или пара составляет менее 0,25 или 0,5 от НКПР в зависимости от значения коэффициента безопасности k . Это означает, что при самом худшем результате оценки V_Z концентрация газа или пара будет значительно ниже НКПР, т. е. в реальности объем взрывоопасной смеси, в котором концентрация газа или пара выше НКПР, будет значительно меньше V_Z .

Коэффициент k выбирается в зависимости от степени утечки горючего вещества. При непрерывной утечке и первой степени утечки $k = 0,25$, при второй — $k = 0,5$.

Для закрытых помещений V_Z рассчитывается по формуле

$$V_Z = f V_k,$$

где f — коэффициент эффективности рассеивания взрывоопасной смеси; находится в пределах от 1 (идеальная ситуация при мгновенном перемешивании ГГ или паров ЛВЖ и свежего воздуха до однородной смеси) до 5 (при наличии препятствия воздушному потоку);

V_k — отношение между минимальным объемным расходом свежего воздуха $(dV/dt)_{\text{min}}$ (м³/с) и фактической кратностью воздухообмена C (с⁻¹);

$$V_k = \frac{(dV/dt)_{\text{min}}}{C}.$$

Для открытых пространств V_Z рассчитывается по формуле

$$V_Z = \frac{f(dV/dt)_{\text{min}}}{0,03},$$

где 0,03 — кратность воздухообмена в секунду при скорости ветра около 0,5 м/с.

Гипотетический объем V_Z не позволяет определить размеры взрывоопасной зоны, так как они зависят от условий вентиляции и расположения источника утечки относительно устройств вентиляции. Для оценки размеров зон по ГОСТ ИЕС [3] необходимо пользоваться отраслевыми нормами и рекомендациями для взрывоопасных производств (например, правилами безопасности в нефтяной и газовой промышленности [11]) или применять компьютерное моделирование.

В отличие от документов [1, 2] по ГОСТ ИЕС [3, 4] от одного источника утечки возможно образование многоклассовой зоны, класс которой может меняться в зависимости от расстояния до источника утечки. Рассматривается также вариант существования нескольких утечек с зонами различных классов. На рис. 2 показано распределение зон в соответствии с [1–3] при сливе бензина из автоцистерны.

Как видно из рис. 2,а, при сливе бензина будет образовываться двухклассовая зона (класс 1 — зона вблизи сливного отверстия, класс 2 — зона, примыкающая к зоне класса 1) [3]. На рис. 2,б видно, что у сливного отверстия образуется зона класса 1 [1] (В-Іг по ПУЭ [2]), так как процесс слива осуществляется при нормальном режиме работы оборудования. На рис. 2,б зона класса 2 не образуется, так как процесс слива не является аварийным режимом работы оборудования.

Указанные различия в распределении взрывоопасных зон могут заметно влиять на выбор электрооборудования, расположенного в этих зонах, а правильная оценка зон позволит выбрать необходимое Ех-оборудование (светильники, выключатели и др.).

Что касается данного примера, то в качестве электрооборудования могут быть установлены устройства заземления автоцистерн (УЗА), осуществляющие автоматическое прекращение наполнения резервуара или включение сигнализации в случае неисправности системы заземления автоцистерн [12]. Эти устройства согласно своду правил [13] в обязательном порядке должны применяться на автозаправочных станциях при сливе-наливе ЛВЖ и ГЖ. В зависимости от класса зоны и ее протяженности УЗА будут различаться по своей конфигурации [14].

Возникают вопросы при толковании определения зоны класса 0 по 123-ФЗ [1] из-за некорректности формулировки: “взрывоопасная смесь... присутствует... хотя бы в течение одного часа”. В течение одного часа непрерывно для одной утечки (длительность) или в течение одного часа за сутки для нескольких повторяющихся утечек (частота)?

Если предположить, что в качестве критерия оценки зоны класса 0 рассматривается частота утечек, как и в международных нормах, то вероятность

* Следует отметить, что в документах [8, 9] плотность паров ЛВЖ $\rho_{\text{п}}$ измеряется в кПа, что является ошибочным, так как кПа — единица измерения давления.

присутствия взрывоопасной среды P_b за год составит:

$$P_b = 365 \text{ (ч)} / 1 \text{ (год)} = \\ = 1 \text{ (ч)} / 24 \text{ (ч)} = 0,0416 \approx 0,42 \cdot 10^{-1},$$

что соответствует вероятности P (см. таблицу) для зоны класса 1, так как $10^{-1} \geq 0,42 \cdot 10^{-1} > 10^{-3}$ ($1000 > 365 > 10$ ч в год). Следовательно, при оценке по частоте утечки класс зоны 0 получается заниженным. Для того чтобы уравнивать вероятности присутствия взрывоопасной смеси для зон класса 0 по 123-ФЗ [1] и ГОСТ ИЕС [3], необходимо увеличить время присутствия взрывоопасной смеси за сутки до 2,5 ч. Тогда вероятность присутствия составит $P_b = 2,5/24 = 1,04 \cdot 10^{-1}$, что больше $P = 10^{-1}$.

Утечки, в результате которых взрывоопасная смесь будет присутствовать более 2,5 ч за сутки, можно рассматривать как постоянные.

Если предположить, что в качестве критерия оценки зоны класса 0 рассматривается длительность утечки (непрерывно в течение 1 ч), то без информации о частоте таких утечек оценить опасность такой зоны не представляется возможным. Без уточнения данной информации на многих производствах можно понизить класс зоны 0 до класса 1 простым уменьшением времени утечки. Например, указать, что в процессе производства взрывоопасная смесь может присутствовать 59 мин вместо 1 ч. Исходя из вышеизложенного длительность присутствия смеси, равную 1 ч, необходимо исключить из определения класса зоны 0 по 123-ФЗ [1] или заменить параметром, обозначающим частоту возникновения смеси*. В любом случае для правильного выбора классов взрывоопасных зон по ГОСТ ИЕС [3, 4] и 123-ФЗ [1] необходимо, чтобы трактовка их определений была одинакова.

При оценке взрывоопасных зон в помещениях необходимо учитывать также следующее:

- 1) взрывоопасные зоны 0 и 20 в большинстве случаев могут иметь место только в преде-

лах корпусов технологического оборудования и трубопроводов, которые нельзя изолировать от проникания в них воздуха;

- 2) пространство, ограниченное радиусом 1 м вокруг источника утечки, обычно является достаточным при рассмотрении протяженности зоны класса 21 [4];
- 3) пространство, ограниченное радиусом 3 м вокруг источника утечки за пределами зоны 21, обычно является достаточным при рассмотрении протяженности зоны класса 22 [4];
- 4) пространство за пределами ограниченных взрывоопасных зон считается невзрывоопасным, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасность;
- 5) классы и размеры взрывоопасных зон для наружных взрывоопасных установок должны приниматься в соответствии с отраслевыми нормами технологического проектирования, учитывающими особенности технологических процессов и опыт эксплуатации соответствующих действующих взрывоопасных установок;
- 6) класс и размеры взрывоопасной зоны определяются технологами совместно с электриками, инженерами по безопасности и другим техническим персоналом.

В заключение стоит отметить, что для успешной гармонизации российских и международных стандартов в области обеспечения пожаровзрывобезопасности объектов необходимо:

- большее внимание акцентировать на основополагающих критериях оценки взрывоопасности сред, образующихся в процессе производства;
- при оценке взрывоопасных зон использовать новые методики, изложенные в последних редакциях международных стандартов;
- использовать аутентичные переводы терминов и определений международных стандартов;
- при корректировке основных нормативных документов (123-ФЗ [1]) вносить соответствующие поправки и во второстепенные (ГОСТ 30852 [7]);
- активнее внедрять в практику международный опыт в области обеспечения пожаровзрывобезопасности объектов.

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.; одоб. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат 1985. — 640 с.
3. ГОСТ ИЕС 60079-10-1–2011. Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды. — Введ. 15.02.2013 г. — М.: Стандартинформ, 2013. — 82 с.

* Частоту и длительность присутствия взрывоопасной смеси допускается определять по соответствующим отраслевым нормам.

4. ГОСТ ИЕС 60079-10-2–2011. Взрывоопасные среды. Часть 10-2. Классификация зон. Взрывоопасные пылевые среды. — Введ. 15.02.2013 г. — М. : Стандартинформ, 2013. — 21 с.
5. API RP 505. Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Zone 0, Zone 1, and Zone 2 // American Petroleum Institute. First edition — November 1997.
6. CEI 31-35. Explosive atmospheres — Guide for classification of hazardous areas for the presence of gas in application of CEI EN 60079-10-1 (CEI 31–87). — Italian Electrotechnical Committee, 2012 (in Italian).
7. ГОСТ 30852.9–2002 (МЭК 60079-10:1995). Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон. — Введ. 15.02.2014 г. — М. : Стандартинформ, 2014. — 42 с.
8. ГОСТ Р 12.3.047–2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 01.01.2014 г. — М. : Стандартинформ, 2014. — 120 с.
9. 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. — 53 с.
10. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : утв. приказом МЧС РФ от 10.05.2009 г. № 404 (в ред. Приказа МЧС РФ от 14.12.2010 г. № 649); введ. 04.03.2011 г. — М. : МЧС РФ, 2011. — 55 с.
11. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности : утв. приказом Ростехнадзора от 12.03.2013 г. № 101; введ. 18.12.2013 г. — М. : Ростехнадзор, 2013. — 145 с.
12. Черкасов В. Н., Харламенков А. С. Обеспечение взрывопожаробезопасности автозаправочных станций и эстакад // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 61–67.
13. СП 156.13130.2014. Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности. — Введ. 01.07.2014 г. — М. : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2014. — 69 с.
14. Черкасов В. Н., Харламенков А. С. Повышение уровня пожаровзрывобезопасности автозаправочных станций и эстакад // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2011. — № 4. — С. 33–41.

Материал поступил в редакцию 30 сентября 2014 г.

English

HARMONIZATION OF NATIONAL AND INTERNATIONAL STANDARDS IN THE FIELD OF FIRE AND EXPLOSION SAFETY OBJECTS

KHARLAMENKOV A. S., Senior Lecturer of Electrical Engineering,
Automated Systems and Communication Department, State Fire Academy
of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation;
e-mail address: h_a_s@live.ru)

ABSTRACT

On the territory of the Russian Federation there are simultaneously some standards on the classification of hazardous areas. In a joint application of these standards is complicated evaluation classes hazardous areas and their sizes. The article outlines the main differences in the definitions of classes of zones and evaluation criteria. A comparative analysis of classes hazardous areas according to international and Russian standards is presented. There are shown examples of the distribution of hazardous areas according various standards. A method to systematize and harmonize national standards with international ones is proposed.

Keywords: hazardous areas; classes of zones; Ex-equipment; identify methods for measurement hazardous areas; harmonization of standards.

REFERENCES

1. On technical regulation for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. *Rules of electrical installation*. Ministry of Energy of USSR. 6th ed. Moscow, Energoatomizdat, 1985. 640 p. (in Russian).
3. *Interstate Standard IEC 60079-10-1-2011. Explosive atmospheres. Part 10-1. Classification of areas. Explosive gas atmospheres*. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 82 p. (in Russian).
4. *Interstate Standard IEC 60079-10-2-2011. Explosive atmospheres. Part 10-2. Classification of areas. Combustible dust atmospheres*. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 21 p. (in Russian).
5. *API RP 505. Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Zone 0, Zone 1, and Zone 2*. American Petroleum Institute. First edition — November 1997.
6. *CEI 31-35. Explosive atmospheres — Guide for classification of hazardous areas for the presence of gas in application of CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87)*. Italian Electrotechnical Committee, 2012 (in Italian).
7. *Interstate Standard 30852.9-2002 (IEC 60079-10:1995). Electrical apparatus for explosive gas atmospheres. Part 10. Classification of hazardous areas*. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 42 p. (in Russian).
8. *National Standard of Russian Federation 12.3.047-2012. Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control*. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 120 p. (in Russian).
9. *Set of Rules 12.13130.2009. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, 2009. 53 p. (in Russian).
10. *On approval of the procedure for determining the quantities of fire risk at industrial sites. The Order of Emercom of Russia Moscow on 10.05.2009 No. 404*. Moscow, Emercom of Russia Publ., 2011. 55 p. (in Russian).
11. *Security rules at the petroleum and gas industry*. Moscow, Rostekhnadzor Publ., 2013. 145 p. (in Russian).
12. Cherkasov V. N., Kharlamenkov A. S. Obespecheniye vzryvopozharobezопасnosti avtozaprovchnykh stantsiy i estakad [Ensuring of explosion and fire safety gas stations and trestles]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 61–67.
13. *Set of Rules 156.13130.2014. Car refueling stations. Fire safety requirements*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2014. 69 p. (in Russian).
14. Cherkasov V. N., Kharlamenkov A. S. Povysheniye urovnya pozharovzryvobezопасnosti avtozaprovchnykh stantsiy i estakad [Improving fire and explosion safety petrol stations and overpasses]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fires and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2011, no. 4, pp. 33–41.

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 ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Alexshome@mail.ru)

А. Ю. КОШЕЛЕВ, старший преподаватель Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22); соискатель Научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая 54а; e-mail: Alekshchelev@mail.ru)

Н. М. БАРБИН, д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой химии Уральского государственного аграрного университета (Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42); старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: NMBarbin@mail.ru)

UDC 614.841.41:547.26:547-304

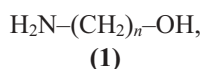
СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ. XVI. α,ω -АМИНОСПИРТЫ

Проведено QSPR-исследование в ряду α,ω -аминоспиртов нормального строения. Показана возможность применения правила углеродной цепи для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств. Найдены эмпирические формулы для определения физико-химических и пожароопасных свойств аминоспиртов. Уточнено модифицированное уравнение Орманди — Крэвена (Ormandy — Craven) для нормальных α,ω -аминоспиртов.

Ключевые слова: аминоспирт; температура вспышки; зависимость; прогноз; хемоинформатика.

Одним из направлений хемоинформатики является изучение зависимости *строение — свойство*, которое получило название QSPR (Quantitative Structure — Property Relationship). Показатели пожарной опасности веществ и материалов также являются предметом QSPR-исследований. За последнее десятилетие опубликован ряд обзорных работ по этому направлению [1–6].

В настоящей работе продолжено исследование по определению границ применения правила углеродной цепи [7–20] для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств органических соединений. В качестве объекта изучения выбраны α,ω -аминоспирты (1)



которые используются в органическом синтезе и применяются в качестве компонентов в моющих средствах, эмульгаторах, косметических и лекарственных препаратах [21].

В табл. 1 представлены справочные данные по физико-химическим и пожароопасным свойствам нормальных α,ω -аминоспиртов [22–26]. В связи с дефицитом информации по экспериментальным характеристикам этих соединений приведены также значения, рассчитанные по ГОСТ 12.1.044–89* (нижний и верхний концентрационные пределы (КПВ) C_H и C_B) [27], а также с помощью программных комплексов ACD/Labs (теплота парообразова-

ния $H_{\text{пар}}$, температуры кипения $T_{\text{кип}}$ и вспышки $T_{\text{всп}}$) [28], ChemBioOffice 2012 (теплота образования $H_{\text{обр}}$, $T_{\text{кип}}$, критическая температура $T_{\text{кр}}$, критическое давление $P_{\text{кр}}$) и HSPiP (версия 4) ($T_{\text{кип}}$) [29].

Из табл. 1 видно, что правило углеродной цепи [7–20] действует в ряду нормальных α,ω -аминоспиртов (2)–(14) и позволяет с приемлемой точностью предсказывать их физико-химические и пожароопасные свойства.

На основании обработки данных табл. 1 выведены эмпирические зависимости (1)–(10) для прогнозирования показателей $H_{\text{пар}}$, $H_{\text{обр}}$, $P_{\text{кр}}$, $T_{\text{кр}}$, $T_{\text{кип}}$, $T_{\text{всп}}$ и C_H , C_B для α,ω -аминоспиртов (2)–(14) от числа атомов углерода N_C (табл. 2). Данных по температуре самовоспламенения $T_{\text{свс}}$ этого класса органических соединений немного, что не позволяет проследить действие правила углеродной цепи относительно данного показателя пожарной опасности и предложить эмпирическое уравнение для его прогнозирования.

В 1993 г. для аминоспиртов были найдены коэффициенты модифицированного уравнения Орманди — Крэвена и предложена формула (11) [5]. На основании данных табл. 1 нами скорректировано уравнение (11) и показано, что оно работает в интервале C_1 – C_{11} :

$$t_{\text{всп}} = 0,58t_{\text{кип}} - 21; \quad (11)$$

$$t_{\text{всп}} = 0,394t_{\text{кип}} + 26,5 \quad (r^2 = 0,9944); \quad (12)$$

$$T_{\text{всп}} = 0,394T_{\text{кип}} + 192,1 \quad (r^2 = 0,9944). \quad (12a)$$

Таблица 1. Справочные и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства нормальных α,ω -аминоспиртов

Соединение	$H_{\text{пар}},$ кДж/моль	$H_{\text{обр}},$ кДж/моль	$P_{\text{кр}},$ атм	Температура, К				КПВ, %	
				$T_{\text{кр}}$	$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	$C_{\text{н}}$	$C_{\text{в}}$
$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{OH}$ 2	42,8 ^p 43,0	-182,4 ^p -182,4	72,7 ^p 72,3	554 ^p 555	403 ^p 387 ^p 422 ^p 416 ^p 424 ^p 417	305 ^p 358		3,7 ^p 4,1	35,2 ^p 35,2
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$ 3	47,4 ^p 49,9 47,1 46,2*	-274,5 ^p -203,1 ^p -203,1 -203,1*	70,3 ^p 67,8 62,1 ^p 62,4 63,2*	678 614 577 ^p 577 576*	444 ^p 410 ^p 441 ^p 437 ^p 441 ^p 444 443 442 439*	366 ^p 366 358 359 366 367 [#] 366*	683	3,0 2,5 2,4 ^p 2,3 2,7*	13,1 17,0 20,9 ^p 20,0 25,0*
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{OH}$ 4	49,3 ^p 49,5 49,6 49,5*	-291,3 ^p -223,7 ^p -223,7 -223,7*	54,3 ^p 53,7 53,6 ^p 54,0 54,5*	649 ^p 598 598 ^p 598 598*	460 ^p 433 ^p 459 ^p 461 460 459 463 462 461*	352 ^p 374 352 374 373 [#] 373*	648	2,2 ^p 2,5 1,8 ^p 1,7 1,9*	10,6 14,9 ^p 14,4 16,2*
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_4\text{OH}$ 5	51,4 ^p 51,5 51,5 51,5*	-244,3 -244,3 -244,4*	46,8 ^p 46,9 47,4*	618 ^p 617 618*	479 ^p 456 ^p 481 ^p 472 ^p 479 478 479 478*	381 ^p 380 377 380 381 [#] 381*		1,4 ^p 1,3 1,5*	11,5 ^p 11,4 12,2*
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_5\text{OH}$ 6	53,4 ^p 53,4 53,0 52,7*	-265,0 ^p -265,0 -265,0*	41,2 ^p 41,1 41,7*	637 ^p 636 636*	495 ^p 479 ^p 501 ^p 490 ^p 495 395 491 495 491*	339 ^p 373 338 339 387 387 [#] 386*		1,1 ^p 1,1 1,2*	9,4 ^p 9,5 9,4*
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_6\text{OH}$ 7	53,9 ^p 53,9 54,3 52,9*	-400,0 ^p -285,6 ^p -285,6 -285,7*	34,0 ^p 36,5 ^p 36,3 36,9*	665 ^p 654 ^p 654 654*	500 ^p 502 ^p 508 ^p 505 ^p 496 500 413 502 500 503*	347 ^p 406 392 347 392 390 [#] 392*	578	1,2 1,0 ^p 0,9 1,0*	9,2 7,3 ^p 8,2 8,1*
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_7\text{OH}$ 8	52,3 ^p 52,4 54,2*	-306,3 ^p -306,3 -306,3*	32,6 ^p 32,3 32,9*	671 ^p 671 670*	487 ^p 524 ^p 512 ^p 511 511*	356 ^p 397 393 [#] 397*		0,9 ^p 0,8 0,9*	6,8 ^p 7,2 6,8*

Окончание табл. 1

Соединение	$H_{\text{пар}},$ кДж/моль	$H_{\text{обр}},$ кДж/моль	$P_{\text{кр}},$ атм	Температура, К				КПВ, %	
				$T_{\text{кр}}$	$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$	$C_{\text{н}}$	$C_{\text{в}}$
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_8\text{OH}$ 9	54,6 ^p 54,5 54,5*	−326,9 ^p −326,9 −326,9*	29,2 ^p 29,1 29,5*	686 ^p 687 686*	506^p 547^p 520 ^p 520 518*	368^p 401 397 [#] 401*		0,8 ^p 0,8 0,8*	6,3 ^p 6,5 6,3*
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_9\text{OH}$ 10	56,7 ^p 56,7 56,7*	−347,5 ^p −347,5 −347,6*	26,4 ^p 26,4 26,6*	701 ^p 702 701*	524^p 570^p 533 ^p 530 523 531*	378^p 405 399 [#] 405*		0,7 ^p 0,7 0,7*	5,8 ^p 5,9 5,9*
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_{10}\text{OH}$ 11	58,9 ^p 58,8 58,8*	−368,2 ^p −368,2 −368,2*	24,0 ^p 24,2 24,2*	715 ^p 715 715*	542 ^p 593^p 549^p 542 541 542*	390^p 408 406 [#] 408*		0,6 ^p 0,6 0,6*	5,5 ^p 5,4 5,5*
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_{11}\text{OH}$ 12	61,0 ^p 60,9 61,0*	−388,8 ^p −388,8 −388,9*	21,9 ^p 22,1 22,0*	728 ^p 728 728*	560 ^p 616^p 566^p 556 560 560*	400^p 410 413 [#] 410*		0,6 ^p 0,6 0,6*	5,1 ^p 5,0 5,2*
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_{12}\text{OH}$ 13	63,1 ^p 63,1 63,1*	−409,5 ^p −409,5 −409,5*	20,0 ^p 20,2 20,2*	740 ^p 740 740*	577 ^p 639^p 584^p 574 577 577*	411 ^p 412 412*		0,5 ^p 0,5 0,5*	4,9 ^p 4,7 4,9*
$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_{13}\text{OH}$ 14	65,1 ^p 65,2	−430,1 ^p −430,1	18,4 ^p 18,1	752 ^p 751	593 ^p 661^p 604^p 596 595	421^p		0,5 ^p 0,5	4,6 ^p 4,4

Пр и м е ч а н и я : 1. Символом “p” обозначены данные, рассчитанные с помощью известных методов или взятые из справочной литературы; “#” и “*” — расчетные значения, полученные соответственно по модифицированному уравнению Орманди – Крэвэна и по правилу углеродной цепи. 2. Курсивом выделены значения, предсказанные по формулам (1)–(10); жирным шрифтом — сомнительные значения, которые не учитывались при выводе уравнений (1)–(10).

Таблица 2. Уравнения для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств α,ω -аминоспиртов

Показатель	Уравнение	Номер (r^2)	Область применения
$H_{\text{пар}},$ кДж/моль	$H_{\text{пар}} = 42,991N_{\text{C}}^{0,1304}$ $H_{\text{пар}} = 2,138N_{\text{C}} + 37,43$	(1) (0,9952) (2) (0,9998)	$1 \leq N_{\text{C}} \leq 6$ $7 \leq N_{\text{C}} \leq 13$
$H_{\text{обр}},$ кДж/моль	$H_{\text{обр}} = -(20,641N_{\text{C}} + 161,78)$	(3) (0,9999)	$1 \leq N_{\text{C}} \leq 13$
$P_{\text{кр}},$ атм	$P_{\text{кр}} = -0,0268N_{\text{C}}^3 + 0,921N_{\text{C}}^2 - 12,508N_{\text{C}} + 83,94$	(4) (0,9998)	$1 \leq N_{\text{C}} \leq 13$
$T_{\text{кр}},$ К	$T_{\text{кр}} = -0,494N_{\text{C}}^2 + 23,25N_{\text{C}} + 532,3$	(5) (0,9999)	$1 \leq N_{\text{C}} \leq 13$
$T_{\text{кип}},$ К	$T_{\text{кип}} = 0,1606N_{\text{C}}^3 - 3,5018N_{\text{C}}^2 + 34,532N_{\text{C}} + 386,1$ $T_{\text{кип}} = 8,457H_{\text{пар}} + 43,7$	(6) (0,9957) (7) (0,9991)	$1 \leq N_{\text{C}} \leq 13$ $3 \leq N_{\text{C}} \leq 13$
$T_{\text{всп}},$ К	$T_{\text{всп}} = -0,319N_{\text{C}}^2 + 9,046N_{\text{C}} + 349,3$	(8) (0,9998)	$1 \leq N_{\text{C}} \leq 12$
$C_{\text{н}},$ % (об.)	$C_{\text{н}} = 4,0985N_{\text{C}}^{-0,816}$	(9) (0,9953)	$1 \leq N_{\text{C}} \leq 13$
$C_{\text{в}},$ % (об.)	$C_{\text{в}} = 35,237N_{\text{C}}^{-0,814}$	(10) (0,9942)	$1 \leq N_{\text{C}} \leq 13$

Выводы

В ходе исследования сделан прогноз ряда неизвестных физико-химических и пожароопасных пока-

зателей α,ω -аминоспиртов. Показана возможность применения правила углеродной цепи для прогнозирования свойств этого класса соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vidal M., Rogers W. J., Holste J. C., Mannan M. S. A review of estimation methods for flash points and flammability limits // *Process Safety Progress*. — 2004. — Vol. 23, No. 1. — P. 47–55. doi: 10.1002/prs.10004.
2. Liu X., Liu Z. Research progress on flash point prediction // *Journal of Chemical & Engineering Data*. — 2010. — Vol. 55, No. 9. — P. 2943–2950. doi: 10.1021/jel1003143.
3. Rowley J. Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction : dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — Brigham Young University, 2010. — 261 p.
4. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть II. Расчет через давление насыщенного пара // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 21–35.
5. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть III. Методы расчета через температуру кипения // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 3. — С. 30–43.
6. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть IV. Декрипторный метод расчета // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 18–37.
7. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолаы // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30.
8. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (часть 1) // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 8–15.
9. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (часть 2) // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 8–13.
10. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IV. Простые эфиры // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 9–16.
11. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. V. Карбоновые кислоты // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 35–46.
12. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VI. Альдегиды // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 29–37.
13. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Смирнов В. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VII. Нитроалканы // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 22–24.
14. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1) // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 31–57.
15. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IX. Хлоралканы // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 13–21.
16. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Животинская Л. О., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. X. Сложные эфиры (часть 2) // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 9–19.
17. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Калач А. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XI. Галогеналканы // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2013. — Т. 22, № 8. — С. 25–37.
18. Алексеев С. Г., Мавлютова Л. К., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XII. Алкилбензолы и диалкилбензолы // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 38–46.

19. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIII. Тиоспирты // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 15–25.
20. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIV. Алкиламины // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 9. — С. 27–37.
21. Википедия. Свободная энциклопедия. URL : <http://ru.wikipedia.org/wiki/Аминоспирты> (дата обращения: 11.01.2014 г.).
22. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (дата обращения: 05–07.12.2013 г.).
23. База данных университета Akron. URL : <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/> (дата обращения: 08–10.12.2013 г.).
24. Chemical Database DIPPR 801 (Brigham Young University). URL : <http://www.aiche.org/dippr/> (дата обращения: 11–13.12.2013 г.).
25. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. — М. : Асс. “Пожнаука”, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
26. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. — М. : Асс. “Пожнаука”, 2004. — Ч. 2. — 774 с.
27. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М. : Изд-во стандартов, 1989; ИПК “Изд-во стандартов”, 1996; 2001. Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — № 2 (48).
28. База данных “ChemSpider”. URL : <http://www.chemspider.com> (дата обращения: 15–17.12.2013 г.).
29. HSPiP (версия 4). URL : <http://www.piri-ka.com/ENG/TCPE/index.html> (дата обращения: 01–10.01.2014 г.).

Материал поступил в редакцию 31 января 2014 г.

English

CORRELATION OF FIRE HAZARD CHARACTERISTICS WITH CHEMICAL STRUCTURE. XVI. α,ω -AMINOALCOHOLS

ALEXEEV S. G., Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of WACSC, 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)

KOSHELEV A. Yu., Senior Lecturer of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation); Postgraduate Student of Science and Engineering Centre “Reliability and Safety of Large Systems” of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: Alekshchelev@mail.ru)

BARBIN N. M., Doctor of Technical Sciences, Head of Chemistry Department of Ural State Agrarian University (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)

ABSTRACT

It is performed QSPR research in number of normal α,ω -aminoalcohols. It is shown possibility of applying the carbon rule for prediction physicochemical and fire-dangerous properties of aminoalcohols. Empirical relationships for prediction heat of vaporization (H_v), heat of formation (H_f), critical pressure (P_c), critical temperature (T_c), boiling point (TB) and flash point (FP), lower and upper flammability limits (LFL, UFL) are found depending on number of carbon atoms (N_C): $H_v = 42,991N_C^{0,1304}$ ($1 \leq N_C \leq 6$); $H_v = 2,138N_C + 37,43$ ($7 \leq N_C \leq 13$); $H_f = -(20,641N_C + 161,78)$ ($1 \leq N_C \leq 13$); $P_c = -0,0268N_C^3 + 0,921N_C^2 - 12,508N_C + 83,94$ ($1 \leq N_C \leq 13$); $T_c = -0,494N_C^2 + 23,25N_C + 532,3$ ($1 \leq N_C \leq 13$); $TB = 0,1606N_C^3 - 3,5018N_C^2 + 34,532N_C + 386,1$ ($1 \leq N_C \leq 13$);

$TB = 8,457H_v + 43,7$ ($3 \leq N_C \leq 13$); $FP(K) = -0,319N_C^2 + 9,046N_C + 349,3$ ($1 \leq N_C \leq 12$); $LFL = 4,0985N_C^{-0,816}$ ($1 \leq N_C \leq 13$); $UFL = 35,237N_C^{-0,814}$ ($1 \leq N_C \leq 13$). The modified Ormandy – Craven's formula are upgraded by using data of normal α, ω -aminoalcohols. It is $FP(^{\circ}C) = 0,394TB - 26,5$.

Keywords: aminoalcohol; flash point; dependence; prediction; chemoinformatics.

REFERENCES

1. Vidal M., Rogers W. J., Holste J. C., Mannan M. S. A Review of estimation methods for flash points and flammability limits. *Process Safety Progress*, 2004, vol. 23, no. 1, pp. 47–55. doi: 10.1002/prs.10004.
2. Liu X., Liu Z. Research progress on flash point prediction. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2010, vol. 55, no. 9, pp. 2943–2950. doi: 10.1021/jel1003143.
3. Rowley J. *Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction*: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. Brigham Young University, 2010. 261 p.
4. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast II. Raschet cherez davleniye nasyschennogo para [Flash point. Part II. Calculation via partial pressure]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 21–35.
5. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Alexeev K. S., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast III. Metody rascheta cherez temperaturu kipeniya [Flash point. Part III. Calculation via a boiling temperature]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 3, pp. 30–43.
6. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Alexeev K. S., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast IV. Deskriptornyy metod rascheta [Flash point. Part IV. The descriptors method]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 18–37.
7. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. I. Alkanoly [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. I. Alcohols]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 23–30.
8. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. II. Ketony (chast 1) [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. II. Ketones (part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15.
9. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. III. Ketony [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. III. Ketones (part 2)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 8–13.
10. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. IV. Prostyye efiry [Correlation of fire hazard indices with chemical structure. IV. Ethers]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 9–16.
11. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. V. Karbonovyye kisloty [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. V. Carboxylic acid]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 35–46.
12. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VI. Aldegidy [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VI. Aldehydes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 29–37.
13. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VII. Nitroalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VII. Nitroalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 22–24.
14. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VIII. Esters (part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 22, no. 1, pp. 31–57.
15. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroeniyem. IX. Khloroalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. IX. Chloroalkanes (part 2)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 22, no. 4, pp. 13–21.

16. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Zhivotinskaya L. O., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. X. Slozhnyye efiry (chast 2) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. X. Esters (part 2)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 22, no. 5, pp. 9–19.
17. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Kalach A. V. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. XI. Galogenalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XI. Haloalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 8, pp. 25–37.
18. Alexeev S. G., Mavlyutova L. K., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. XII. Alkilbenzoly i dialkilbenzoly [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XII. Alkyl benzenes and dialkyl benzenes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 38–46.
19. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. XIII. Tiospirty [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XIII. Alkylthiols]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 8, pp. 15–25.
20. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharной opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. XIV. Alkilaminy [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XIV. Alkylamines]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 9, pp. 27–37.
21. Wikipedia. The Free Encyclopedia. Alkanolamine. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/Alkanolamine> (Accessed 11 January 2014).
22. Sigma-Aldrich database. Available at: <http://www.sigma-aldrich.com/catalog> (Accessed 5–7 December 2013).
23. Akron University database. Available at: <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/> (Accessed 8–10 December 2013).
24. Chemical Database DIPPR 801. Available at: <http://www.aiche.org/dippr/> (Accessed 11–13 December 2013).
25. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost vechchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosive hazard of compounds and materials, and their fire extinguishing means. Handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, vol. 1. 713 p.
26. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost vechchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosive hazard of compounds and materials, and their fire extinguishing means. Handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, vol. 2. 774 p.
27. Interstate Standard 12.1.044–89*. Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989; IPK Izdatelstvo standartov, 1996, 2001. Available at: NSIS PB, 2012, no. 2(48) (in Russian).
28. ChemSpider database. Available at: <http://www.chemspider.com> (Accessed 1–10 October 2013).
29. HSPiP ver. 4. Available at: <http://www.pirika.com/ENG/TCPE/index.html> (Accessed 1–10 January 2014).

А. Д. ГОЛИКОВ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, заместитель начальника по научной работе, Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности (НИИПИИИТвОБЖ), Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35; e-mail: golikad@mail.ru)

Е. Ю. ЧЕРКАСОВ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник НИИПИИИТвОБЖ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35; e-mail: cherkasovspb@inbox.ru)

А. И. ДАНИЛОВ, руководитель группы ПБ и ГОЧС, ОАО "Научно-исследовательский проектно-изыскательский институт "Ленметрогипротранс" (Россия, 191002, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Московская, 2; e-mail: adanilav@gmail.com)

И. А. СИВАКОВ, аспирант, ассистент кафедры компьютерной теплофизики и энерго-физического мониторинга, Санкт-Петербургский научно-исследовательский университет информационных технологий механики и оптики (Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, лит. А; e-mail: i.a.sivakov@gmail.com)

УДК 614.849

ПРЕДЕЛ ОГНЕСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЧУГУННЫХ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК МЕТРОПОЛИТЕНА БЕЗ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Показано, что обрушение несущих конструкций тоннелей метрополитена при пожарах сильно осложняет тушение и на длительный срок нарушает нормальное функционирование транспортной магистрали. Рассмотрена проблема обеспечения огнестойкости перегонных тоннелей метрополитенов с обделкой из чугунных тюбингов. Показано, что существующие методики расчета пределов огнестойкости стальных конструкций не учитывают специфику применения чугунных тюбингов (их значительную толщину, различие физико-механических свойств чугуна и стали и теплоотдачу с необогреваемой поверхности тюбингов в окружающий грунт).

Ключевые слова: пожарная безопасность; огнестойкость; тоннель; чугун.

Исследование реферативного журнала ВИНТИ "Пожарная охрана" за 1982–2013 гг. показало отсутствие публикаций по огнестойкости несущих элементов строительных конструкций из чугуна. Это необоснованно забытая тема, так как к эксплуатируемым социально значимым сооружениям, в которых применяются чугунные конструкции, — тоннелям метрополитенов предъявляется требование по пределу огнестойкости по несущей способности 60 мин для эскалаторных и 90 мин для перегонных тоннелей [1]. Из чугунных тюбингов изготавливаются обделки тоннелей глубокого заложения, работающих в тяжелых условиях. В силу значительной протяженности объекта и условий эксплуатации установка и поддержание в работоспособном состоянии огнезащитных покрытий связаны с большими финансовыми и временными затратами. Существующая ситуация приводит к тому, что отсутствует возможность обоснованной оценки фактического предела огнестойкости чугунных конструкций и определения достаточности мероприятий по их огнезащите.

Целью данной работы является оценка возможности расчетного определения фактического пре-

дела огнестойкости конструкций из чугуна, использующихся при строительстве тоннелей метрополитена.

Следствием потери несущей способности в соответствии с п. 8.1.1 ГОСТ 30247.1–94 [2] является обрушение конструкции. Нагрев строительной конструкции приводит к снижению ее несущей способности, и если механическая нагрузка превышает последнюю, то происходит обрушение конструкции.

На практике при расчете огнестойкости строительных конструкций, в том числе металлоконструкций, применяется статический подход. Несущая способность при пожаре определяется из уравнений предельного равновесия, соответствующих определенным схемам разрушения. Основными параметрами, учитывающими тепловое воздействие пожара на конструкции, являются показатели изменения прочности и деформативности материалов при нагреве. При этом считается, что разрушение происходит внезапно, при достижении внешней силой некоторой предельной величины, называемой пределом прочности. Критическая температура нагрева материала отражает критический характер разрушения такой статической системы при нагре-

ве под нагрузкой. При этом считается, что при нагрузке или температуре, меньшей предельно допустимой, материал остается целым сколь угодно долго, и такая нагрузка или температура считается безопасной. В рамках статического подхода в условиях высокотемпературного нагрева изменение прочности можно представить в виде однозначных зависимостей *прочность – температура*. В безразмерном относительном виде такая зависимость называется температурным коэффициентом условий работы γ_t и имеет вид:

$$\gamma_t = R(T)/R, \quad (1)$$

где R — сопротивление материала в нормальных условиях;

$R(T)$ — сопротивление материала в условиях стандартного режима нагрева.

В работах первой половины XX века [3] указывается, что чугунные конструкции при нагреве теряют прочность в меньшей степени, чем стальные: “Несущая способность уменьшается у сварочного железа при 550 °С на 60 %. Гораздо устойчивее оказывается чугун. Чтобы понизить в такой же мере его способность выдерживать нагрузку, нужно воздействие температуры 700 °С”.

На рис. 1 приведены зависимости температурных коэффициентов условий работы чугуна [4, 5] и стали от температуры [6]. Из рис. 1 можно видеть, что критической температуре 500 °С для стали соответствует значение $\gamma_t = 0,58$, а для серого чугуна — $\gamma_t = 636$ °С.

Предел огнестойкости несущих элементов металлических конструкций зависит от приведенной толщины δ_{red} , которая обычно определяется по формуле [7]:

$$\delta_{red} = A/u, \quad (2)$$

где A — площадь поперечного сечения;

u — обогреваемая часть периметра сечения.

Поскольку приведенные толщины тубингов могут составлять более 30 мм и теплофизические свойства серого чугуна несколько отличаются от свойств конструкционной стали, были проведены сравнительные расчеты прогрева конструкций без огнезащиты в соответствии с [8, 9]. Теплофизиче-

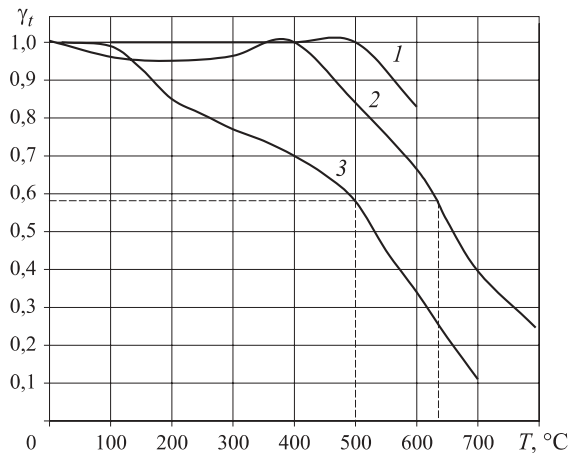


Рис. 1. Зависимость температурного коэффициента условий работы γ_t от температуры: 1 — серый чугун [4]; 2 — серый чугун [5]; 3 — сталь [6]

ские и прочностные характеристики серого чугуна СЧ20, взятые по данным [5, 10–12], а также конструкционной стали [9] и грунта (глины и известняка [13]) приведены в табл. 1–3.

Минимальное значение коэффициента теплоотдачи с металлической стенки в воду $\alpha = 350$ Вт/(м²·К) [14].

Для учета теплоотдачи с поверхности контакта тубингов с грунтом приведенная толщина δ_{red} определялась по формуле

$$\delta_{red} = \frac{M}{0,5 (F_{нагр} + F_{отд}) \rho}, \quad (3)$$

где M — масса тубинга;

ρ — плотность чугуна;

$F_{нагр}$ — обогреваемая площадь поверхности тубинга;

$F_{отд}$ — площадь поверхности тубинга, контактирующей с окружающим тоннель грунтом.

Испытания на огнестойкость образцов строительных конструкций проводятся при воздействии на их поверхность стандартного температурного режима пожара, определяемого в виде следующей зависимости:

$$T = T_0 + 345 \lg \left(\frac{8}{60} \tau + 1 \right), \quad (4)$$

где T_0 — начальная температура;

τ — время с момента начала испытаний, с.

Расчет распределения температуры в поперечном сечении обделки тоннеля и окружающем грунте производился путем численного решения уравнения теплопроводности с учетом зависимости тепло-

Таблица 1. Зависимость удельной теплоемкости серого чугуна от температуры [12]

Температура, °С	0	160	260	360	510
C , Дж/(кг·°С)	502	523	553	586	620

Таблица 2. Зависимость температурного коэффициента условий работы γ_t серого чугуна от температуры [5]

Температура, °С	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	950
Коэффициент γ_t	1,00	0,96	0,95	0,96	1,00	0,84	0,68	0,39	0,25	0,11	0,05

Таблица 3. Теплофизические и прочностные характеристики серого чугуна, стали и грунта

Показатель	Чугун серый	Сталь	Грунт	
			Глина	Известняк [13]
Плотность, кг/м ³	7100 [5]	7800	2000	2100
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	52 [11]	$48 - 3,65 \cdot 10^{-2} T^*$	1,71	1,25
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°C)	См. табл. 1	$440 + 0,48 T$	1,42	0,92
Влажность, %	—	—	30	50

* T — температура, °C.

физических характеристик материалов от температуры:

$$c \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \operatorname{div} (\lambda \operatorname{grad} T) - Q, \quad (5)$$

где c , ρ , λ — удельная теплоемкость, плотность и теплопроводность материала;
 Q — тепло, затрачиваемое на испарение влаги, содержащейся в материалах;

$$Q = r \varphi \rho \delta(T - 100); \quad (6)$$

r — скрытая теплота парообразования физически связанной воды огнезащитного материала, Дж/кг;

$\delta(T - 100)$ — дельта-функция ($\delta(T - 100) = 0$ при $T > 100$; $\delta(T - 100) \rightarrow \infty$ при $T = 100$);

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(T - 100) dT = 1.$$

Граничные условия задачи описывались уравнением лучистого и конвективного теплообмена между внутренней поверхностью конструкции и окружающей средой:

$$-\lambda \operatorname{grad} T = \alpha_k (T_r - T_n) + \varepsilon_{\text{пр}} \sigma [(T_r + 273)^4 - (T_n + 273)^4], \quad (7)$$

где α_k — коэффициент конвективного теплообмена для обогреваемой поверхности; $\alpha_k = 29 \text{ Вт/м}^2$;
 $\varepsilon_{\text{пр}}$ — приведенная степень черноты системы *обогреваемая среда – поверхность конструкции*;
 $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,72$;

σ — постоянная Стефана – Больцмана;

T_n , T_r — температура соответственно поверхности конструкции и газовой фазы, °C.

По линии контакта чугуна и грунта приняты условия равенства температур и тепловых потоков.

Коэффициенты теплообмена взяты из [2] для условий испытаний в огневой печи.

Принималось, что целостность конструкции сохраняется, если за время теплового воздействия средняя температура конструкции не превысит критического значения 636 °C.

Результаты расчетов при условии устройства теплоизоляции на необогреваемой поверхности приведены на рис. 2. Из рисунка видно, что серый чугун

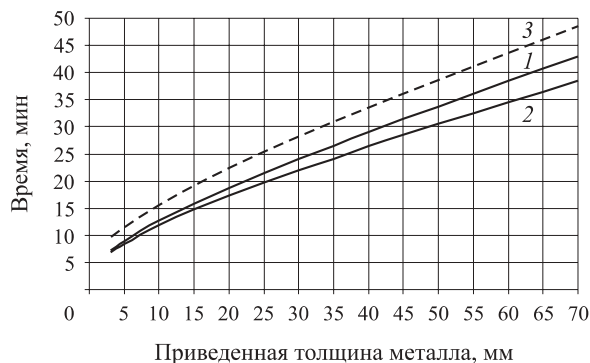


Рис. 2. Зависимость времени достижения критической температуры от приведенной толщины металла конструкции: 1 — сталь, 500 °C; 2 — чугун, 500 °C; 3 — чугун, 636 °C

прогревается быстрее конструкционной стали (кривые 1 и 2), однако до критической температуры 636 °C чугун прогревается дольше, чем сталь до 500 °C (кривые 1 и 3). Кроме того, из результатов расчетов следует, что необходимо учитывать влияние теплоотдачи в грунт с необогреваемой поверхности конструкции.

На рис. 3 приведена расчетная схема, использованная при проведении тепловых расчетов. Область I, ограниченная линиями 1–2–7–6, — чугун; область II, ограниченная линиями 3–4–5–7, — грунт. На линии 1 определено условие воздействия пожара, 2–6 — теплоизоляции, 7 — равенство температур и тепловых потоков на границе раздела *чугун – грунт*. Толщина слоя грунта за обделкой принята равной 0,3 м. В случае наличия воды за обделкой тоннеля область II отсутствует, а по линии 7 устанавливается условие конвективной теплоотдачи.

Для оценки фактического предела огнестойкости конструкций проведен тепловой расчет зависи-

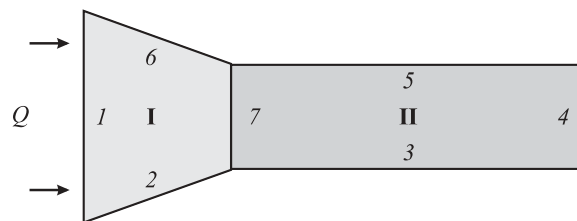


Рис. 3. Расчетная схема прогрева конструкции: I — чугун; II — грунт; Q — воздействие пожара

мости средней температуры тьюбингов эскалаторных и перегонных тоннелей от времени теплового воздействия пожара.

При строительстве эскалаторных тоннелей используются тьюбинги Н из серого чугуна СЧ21-40 массой 658 кг, скрепленные между собой стальными болтами. При эксплуатации тоннеля болты не несут нагрузки. Грунт за обделкой тоннеля — глина влажностью 30 %.

Площади нагрева и контакта с грунтом определены по чертежам тьюбинга: $F_{\text{нагр}} = 3,3 \text{ м}^2$; $F_{\text{отд}} = 1,55 \text{ м}^2$.

По формуле (2) получаем $\delta_{\text{ред}} = 38,2 \text{ мм}$.

Зависимость средней температуры тьюбинга тоннеля от времени приведена на рис. 4. Как видно из рисунка, средняя температура тьюбинга на 60-й минуте составляет 625 °С, что ниже критического значения 636 °С.

Таким образом, расчет прогрева обделки эскалаторного тоннеля со сборной обделкой из тьюбингов Н из чугуна СЧ21-40 показал, что при воздействии стандартного температурного режима пожара предел огнестойкости по несущей способности составляет не менее 60 мин при данных свойствах окружающего грунта.

При строительстве перегонных тоннелей используются тьюбинги Н-3-Л, Н-2-Л, С-2-Л, К-2-Л из серого чугуна. В табл. 4–6 приведены результаты расчета средних температур и соответствующих температурных коэффициентов условий работы для тьюбингов при времени стандартного температурного воздействия пожара 45; 60 и 90 мин. Для возможности оценки влияния влажности грунтов в таблицы были добавлены результаты, полученные для грунтов с влажностями, отличными от заданных.

Анализ результатов исследований огнестойкости конструкций обделки тоннеля со сборной обделкой из тьюбингов Н-3-Л, Н-2-Л, С-2-Л, К-2-Л из чугуна СЧ20 показал, что при воздействии стандартного температурного режима пожара предел огнестойкости по несущей способности составляет не менее

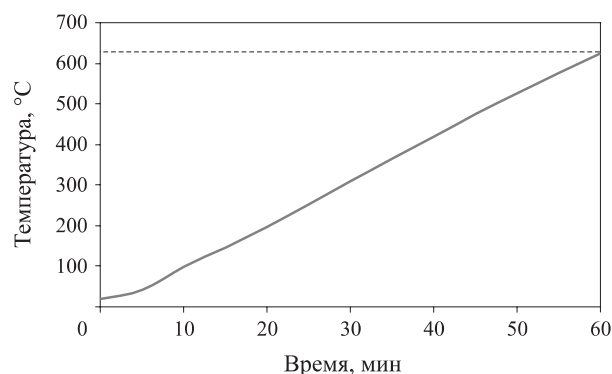


Рис. 4. Зависимость средней температуры тьюбинга от времени воздействия стандартного температурного режима пожара

Таблица 4. Средние температуры и соответствующие им температурные коэффициенты условий работы для тьюбингов при времени стандартного температурного воздействия пожара 45 мин

Тип тьюбинга	Приведенная толщина, мм	Тип грунта	Влажность грунта, %	Средняя температура, °С	γ_t	
К-2-Л	35,9	Глина	0	560	0,74	
			10	538	0,79	
			20	522	0,83	
			30	507	0,85	
Н-2-Л	31,7		0	571	0,72	
			10	547	0,78	
			20	528	0,81	
			30	512	0,84	
Н-3-Л	25,9		0	626	0,59	
			10	601	0,65	
			20	581	0,70	
			30	563	0,74	
С-2-Л	32,2		0	565	0,74	
			10	540	0,79	
			20	521	0,83	
			30	505	0,86	
К-2-Л	35,9	Известняк	0	589	0,68	
			3	581	0,70	
			10	566	0,73	
			50	511	0,85	
			100	468	0,91	
Н-2-Л	31,7		0	606	0,64	
			3	597	0,66	
			10	579	0,70	
			50	516	0,84	
			100	467	0,91	
Н-3-Л	25,9		0	665	0,49	
			3	656	0,52	
			10	638	0,56	
			50	571	0,72	
			100	519	0,83	
С-2-Л	32,2		0	599	0,66	
			3	590	0,68	
			10	572	0,72	
			50	509	0,85	
			100	461	0,92	
К-2-Л	35,9	Вода	—	295	0,98	
Н-2-Л	31,7		—	277	0,97	
Н-3-Л	25,9		—	289	0,98	
С-2-Л	32,2		—	274	0,97	

Таблица 5. Средние температуры и соответствующие им температурные коэффициенты условий работы для тубингов при времени стандартного температурного воздействия пожара 60 мин

Тип тубинга	Приведенная толщина, мм	Тип грунта	Влажность грунта, %	Средняя температура, °С	γ_t
К-2-Л	35,9	Глина	0	712	0,38
			10	692	0,43
			20	676	0,47
			30	662	0,50
Н-2-Л	31,7		0	720	0,37
			10	698	0,42
			20	680	0,46
			30	664	0,50
Н-3-Л	25,9		0	767	0,28
			10	747	0,31
			20	730	0,35
			30	714	0,38
С-2-Л	32,2		0	714	0,38
			10	692	0,43
			20	673	0,47
			30	657	0,51
К-2-Л	35,9	Известняк	0	745	0,32
			3	739	0,33
			10	725	0,36
			50	670	0,48
			100	624	0,60
Н-2-Л	31,7		0	758	0,29
			3	750	0,31
			10	735	0,34
			50	673	0,47
			100	622	0,60
Н-3-Л	25,9		0	804	0,22
			3	797	0,23
			10	784	0,25
			50	726	0,35
			100	676	0,47
С-2-Л	32,2		0	752	0,30
			3	744	0,32
			10	729	0,35
			50	666	0,49
			100	614	0,62
К-2-Л	35,9	Вода	—	403	0,97
Н-2-Л	31,7		—	405	0,97
Н-3-Л	25,9		—	408	0,97
С-2-Л	32,2		—	405	0,97

Таблица 6. Средние температуры и соответствующие им температурные коэффициенты условий работы для тубингов при времени стандартного температурного воздействия пожара 90 мин

Тип тубинга	Приведенная толщина, мм	Тип грунта	Влажность грунта, %	Средняя температура, °С	γ_t	
К-2-Л	35,9	Глина	0	895	0,12	
			10	884	0,13	
			20	874	0,14	
			30	864	0,15	
Н-2-Л	31,7		0	895	0,12	
			10	883	0,14	
			20	872	0,15	
			30	861	0,16	
Н-3-Л	25,9		0	915	0,10	
			10	905	0,11	
			20	896	0,12	
			30	887	0,13	
С-2-Л	32,2		0	892	0,13	
			10	879	0,14	
			20	868	0,15	
			30	857	0,16	
К-2-Л	35,9	Известняк	0	921	0,09	
			3	917	0,10	
			10	909	0,11	
			50	873	0,15	
			100	832	0,19	
Н-2-Л	31,7		0	922	0,09	
			3	919	0,10	
			10	910	0,11	
			50	898	0,12	
			100	837	0,18	
Н-3-Л	25,9		0	939	0,07	
			3	936	0,07	
			10	929	0,08	
			50	869	0,15	
			100	867	0,15	
С-2-Л	32,2		0	920	0,10	
			3	916	0,10	
			10	907	0,11	
			50	869	0,15	
			100	832	0,19	
К-2-Л	35,9	Вода	—	470	0,91	
Н-2-Л	31,7		—	470	0,91	
Н-3-Л	25,9		—	471	0,91	
С-2-Л	32,2		—	470	0,91	

R45 для окружающего грунта из глины влажностью 30 % или известняка влажностью 50 %. В случае наличия за обделкой тоннеля воды предел огнестойкости конструкции по несущей способности превышает R90.

Результаты расчетов зависимостей прогрева конструкций от времени показывают, что пределы огнестойкости чугунных тубингов соответствующей приведенной толщины могут достигать предела огнестойкости 60 мин без нанесения огнезащитных покрытий при достаточной приведенной толщине металла или наличии воды (переувлажненного грунта) на необогреваемой поверхности. Ввиду скудности и противоречивости данных [4, 5] необходимо проведение экспериментальных работ по уточнению зависимости коэффициента условий работы от температуры. При оценке возможности дальнейшей эксплуатации конструкции следует учитывать, что в условиях пожара в чугунных конструкциях в процессе нагрева могут происходить изменения структуры чугуна, что, в свою очередь,

может привести к изменению прочностных характеристик, появлению трещин и разрывов.

Для перегонных тоннелей метрополитена требуемый предел огнестойкости R90 определялся при пожаре состава из восьми вагонов серии Е с пожарной нагрузкой 50 кг/м^2 в тоннеле с бетонной обделкой (бетон имеет теплопроводность существенно меньше, чем чугун). Очевидно, что при уменьшении пожарной нагрузки вагонов температурное воздействие на обделку тоннелей также будет снижаться. В настоящее время в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности пожарная нагрузка подвижного состава метрополитена не должна превышать 35 кг/м^2 .

Следовательно, необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований для уточнения требований по пределам огнестойкости и методики расчета фактических пределов огнестойкости несущих конструкций подземных сооружений метрополитенов, выполненных из чугунных тубингов, в том числе с учетом применения современного подвижного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 120.13330.2012. Метрополитены (актуализированная ред. СНиП 32-02-2003) : утв. приказом Минрегиона России от 30.06.2012 г. № 270; введ. 01.01.2013 г. — М. : Минрегион России, 2012. — 259 с.
2. ГОСТ 30247.0-94 (ИСО 834-75). Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. — Введ. 01.01.96 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996; 2003. — 11 с.
3. Шварц Э. Пожары и взрывы от химико-технических причин. — М. : Изд-во НКВД РСФСР, 1929. — 416 с.
4. Погодин-Алексеев Г. И. Справочник по машиностроительным материалам. — Т. 3. Чугун. — М. : Машгиз, 1959. — 359 с.
5. Справочник по чугунному литью / Под ред. Г. Гиршовича. — М. : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1978. — 758 с.
6. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. Огнестойкость строительных конструкций. — М. : ЗАО “Спецтехника”, 2001. — 496 с.
7. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП II-2-80) : утв. приказом ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР от 19.12.84 г. № 351/л. — М. : Стройиздат, 1985. — 56 с.
8. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. — М. : Стройиздат, 1988. — 142 с.
9. Молчадский И. С. Пожар в помещении. — М. : ВНИИПО, 2005. — 456 с.
10. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции : утв. постановлением Госстроя СССР от 14.08.81 г. № 144; введ. 01.01.82 г. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. — 96 с.
11. Зернов С. И. Расчетные оценки при решении задач пожарно-технической экспертизы : учебное пособие. — М. : ЭКЦ МВД России, 1992.
12. Конструкционные материалы : справочник / Б. Н. Арзамасов, В. А. Брострем, Н. А. Буше и др. — М. : Машиностроение, 1990. — 688 с.
13. Эллисон В. А. Пожарная профилактика. — М. : Изд-во НКВД, 1931. — 262 с.
14. Кухлинг Х. Справочник по физике / Пер. с нем. — 2-е изд. — М. : Мир, 1985. — 250 с.

Материал поступил в редакцию 28 августа 2014 г.

FIRE RESISTANCE OF CAST IRON TUNNEL LINING WITHOUT FIREPROOF COVERING

GOLIKOV A. D., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Deputy Head of Scientific Work of Research Institute of Perspective Researches and Innovative Technologies in the Field of Health and Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Embankment, 35, Saint Petersburg, 193079, Russian Federation; e-mail address: golikad@mail.ru)

CHERKASOV Eu. Yu., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Research Institute of Perspective Researches and Innovative Technologies in the Field of Health and Safety, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Embankment, 35, Saint Petersburg, 193079, Russian Federation; e-mail address: cherkasovspb@inbox.ru)

DANILOV A. I., Fire-Safety Principal Engineer, OJSC Scientific, Research, Design and Surveying Institute "Lenmetrogiprotrans" (Bolshaya Moskovskaya St., 2, Saint Petersburg, 191002, Russian Federation; e-mail address: adanilav@gmail.com)

SIVAKOV I. A., Postgraduate Student, Assistant of Department of Computer Thermal Physics and Physical Energy Monitoring of ITMO University (Kronverkskiy Avenue, 49, letter A, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation; e-mail address: i.a.sivakov@gmail.com)

ABSTRACT

Nowadays subway is one of the important parts of transport system in large cities. It is necessary a lot of time and money to keep up the efficiency of subways work and ensuring its fire protection. The collapse of the supporting structures of the subway tunnels due to fire complicates the fire-fighting and for long disrupts the normal functioning of subway. Lining of deep foundation subway tunnels working in hard usage are made of cast iron liners (tubing). The existing methods for calculating the limit of fire-resistance of steel structures do not take into account the features of cast iron tubing usage, such as difference properties of cast iron and iron and heat transfer from the unheated surface in the surrounding soil. The present article is brought the calculating of heating process of the cast iron tubing with account of heat release from the unheated surface in the surrounding soil. It was shown the influence of thermo-physical soil properties on the process heating of cast iron structures.

Keywords: fire safety; fire resistance; tunnel; cast iron.

REFERENCES

1. Set of rules 120.13330.2012. The Subways. Moscow, FAU "FTsS", OOO "Analitik" Publ., 2012. 259 p. (in Russian).
2. Interstate standard 30247.0–94. Elements of constructions. Fire-resistance test methods. General requirements. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2003. 11 p. (in Russian).
3. Shvarts E. *Pozhary i vzryvy ot khimiko-tekhnicheskikh prichin* [Fires and explosions from the chemical-technical reasons]. Moscow, Izdatelstvo NKVD RSFSR, 1929. 416 p.
4. Pogodin-Alekseev G. I. *Spravochnik po mashinostroitel'nyim materialam*. T. 3. Chugun [Handbook of machine building materials. Vol. 3. Iron]. Moscow, Mashgiz Publ., 1959. 359 p.
5. Girshovich G. (ed.). *Spravochnik po chugunnomu lityu* [Handbook of cast iron casting]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., Leningradskoye otdeleniye, 1978. 758 p.
6. Mosalkov I. L., Plyusnina G. F., Frolov A. Yu. *Ognestoykost stroitel'nykh konstruksiy* [Fire resistance of building structures]. Moscow, ZAO "Spetstekhnika" Publ., 2001. 496 p.
7. Guidelines for identification of the limits of fire resistance of structures, within the fire from spreading structures and groups of flammability of materials (to SNiP II-2–80). TsNIISK im. Kucherenko. Moscow, Stroyizdat, 1985. 56 p. (in Russian).
8. Yakovlev A. I. *Raschyot ognestoykosti stroitel'nykh konstruksiy* [Calculation of fire resistance of building structures]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 142 p.

9. Molchadskiy I. S. *Pozhar v pomeshchenii* [The fire in the room]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2005. 456 p.
10. *Construction norms and regulations II-23–81*. Steel constructions*. Moscow, TsITP of Gosstroya SSSR Publ., 1990. 96 p. (in Russian).
11. Zernov S. I. *Raschyety nye otsenki pri reshenii zadach pozharno-tekhnicheskoy ekspertizy. Uchebnoye posobiye* [Estimates at the decision of tasks of fire-technical examination. Tutorial]. Moscow, EKTs MVD Rossii Publ., 1992.
12. Arzamasov B. N., Brostrem V. A., Bushe N. A. et al. *Konstruktsionnyye materialy: spravochnik* [Construction materials. Handbook]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1990. 688 p.
13. Ellison V. A. *Pozharnaya profilaktika* [Fire prevention]. Moscow, Izdatelstvo NKVD, 1931. 262 p.
14. Kukhling H. *Spravochnik po fizike* [Physics Handbook]. Moscow, Mir Publ., 1985. 250 p.



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; www.firepress.ru

В. Л. МУРЗИНОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного архитектурно-строительного университета (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: dr.murzinov@yandex.ru)

М. В. ПАРШИН, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного архитектурно-строительного университета (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: maxipi@yandex.ru)

УДК 536.253

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ НАЛИЧИИ ОТКРЫТОГО ПЛАМЕНИ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ

Рассмотрена задача построения соотношения, связывающего температуру в помещении в начальной стадии пожара с временными и теплофизическими параметрами в условиях свободной конвекции. Эффективность полученного решения была проверена на экспериментальной установке. Показана возможность прогнозирования времени достижения критического значения температуры в помещении в начальной стадии пожара.

Ключевые слова: пожар; конвективный теплообмен; свободная конвекция; моделирование; теплофизические параметры; критическая температура.

Моделирование тепловых процессов в негерметичных помещениях при наличии аэрационных фонарей может основываться на теории конвективного теплообмена и газовой динамики. Учет наличия открытого пламени при моделировании теплового режима пожара позволяет сделать некоторые обобщения и допущения, опирающиеся на картину физического процесса. С позиции математического моделирования можно несколько упростить физическую картину, отбросив второстепенные факты, практически не оказывающие влияния на динамику теплового процесса [1].

Рассмотрим стандартное производственное помещение, оборудованное аэрационными фонарями для естественной вентиляции. Предположительно, очаг возгорания расположен в центре помещения. Схема взаимного расположения элементов помещения, источника тепловой нагрузки и вентиляции показана на рис. 1.

Можно принять следующие допущения. Объем воздуха, поступающего в помещение в единицу времени, равен объему воздуха, уходящего через аэрационные фонари. Тепловой поток от источника 2 (см. рис. 1) нагревает воздух за счет конвективного теплообмена, а ограждения (стены, потолок, пол) — за счет лучистого теплообмена. Нагретые ограждения отдают тепловую энергию в воздух в результате процесса теплоотдачи [2, 3]. Тепловая энергия от источника равномерно распределяется по всему объему помещения. Движущей силой для перемещения воздушных масс является сила Архимеда,

которая возникает вследствие изменения плотности газовой среды под действием теплового напора.

Запишем систему уравнений, описывающих движение воздуха при наличии теплового источника и свободной конвекции:

- уравнение переноса энергии Фурье – Кирхгофа [4]:

$$\frac{Dt}{d\tau} = a \nabla^2 t + \frac{Q}{\rho C_p}; \quad (1)$$

- уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости Навье – Стокса [5]:

$$\frac{d\bar{V}}{d\tau} = \bar{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \bar{V}; \quad (2)$$

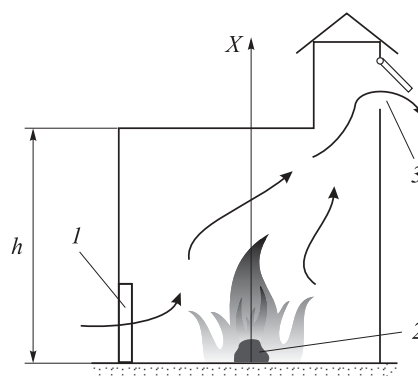


Рис. 1. Схема взаимного расположения элементов помещения и вентиляции: 1 — канал поступления воздуха из окружающей среды; 2 — источник тепловой нагрузки; 3 — выходное отверстие аэрационного фонаря

- уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0, \quad (3)$$

где $Dt/d\tau$ — субстанциальная производная;

$$\frac{Dt}{d\tau} = \frac{\partial t}{\partial \tau} + u \frac{\partial t}{\partial x} + v \frac{\partial t}{\partial y} + w \frac{\partial t}{\partial z};$$

u, v, w — скорости вдоль соответствующих осей x, y, z , м/с;

t — температура, °С;

τ — время, с;

a — коэффициент температуропроводности, м²/с; $a = \lambda/(\rho C_p)$;

λ — коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·°С);

ρ — плотность воздуха, кг/м³;

C_p — удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С);

∇^2 — оператор Лапласа, м⁻²;

$$\nabla^2 \dots = \frac{\partial^2 \dots}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dots}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \dots}{\partial z^2};$$

Q — источник тепловой нагрузки, Вт/м³;

$\bar{V}$ — вектор скорости воздушной среды, м/с;

$$\frac{d\bar{V}}{d\tau} = \frac{\partial \bar{V}}{\partial \tau} + u \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} + w \frac{\partial \bar{V}}{\partial z};$$

$\bar{F}$ — вектор массовых сил, м/с²;

$\text{grad } p$ — градиент давления, Па/м;

$$\text{grad } p = \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial p}{\partial z};$$

μ — динамическая вязкость воздуха, Н·с/м².

С учетом допущений будет рассматриваться свободная конвекция вдоль одной оси x , поэтому можно положить $v = 0$, $w = 0$, $\partial u/\partial x = 0$, $\text{grad } p = 0$. Объемная сила $F_y = F_z = 0$, а сила вдоль оси x будет определяться подъемной силой или силой Архимеда

$$F_x = g \beta(t - t_0), \quad (4)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с²;

β — коэффициент теплового расширения, 1/°С;

t_0 — начальная температура, °С.

Текущее значение плотности определится соотношением

$$\rho = \rho_0(1 - \beta(t - t_0)), \quad (5)$$

где ρ_0 — начальное значение плотности, кг/м³.

Тогда система уравнений (1)–(3) примет вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + u \frac{\partial t}{\partial x} = \frac{\lambda}{\rho C_p} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{Q}{\rho C_p}; \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = g \beta(t - t_0); \quad (7)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + u \frac{\partial t}{\partial x} = \left[\frac{(1 - \beta(t - t_0))}{\beta} \right] \frac{\partial u}{\partial x}. \quad (8)$$

Система уравнений (6)–(8) и дополнений (4), (5) преобразуется в уравнение

$$\frac{\lambda}{\rho C_p} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} - g \tau [(1 - \beta(t - t_0))] \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{Q}{\rho C_p} = 0. \quad (9)$$

В уравнение (9) введем безразмерную температуру

$$z = 1 - \beta(t - t_0). \quad (10)$$

Тогда

$$\frac{\partial t}{\partial x} = -\frac{1}{\beta} \frac{\partial z}{\partial x}; \quad \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = -\frac{1}{\beta} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}. \quad (11)$$

С учетом (10) и (11) уравнение (9) примет вид:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} - \frac{\rho C_p g}{\lambda} \tau z \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{Q \beta}{\lambda} = 0. \quad (12)$$

В уравнении (12) сделаем замену:

$$\xi = x/h. \quad (13)$$

Тогда уравнение (12) запишется в виде

$$\frac{\partial^2 z}{\partial \xi^2} - \frac{\rho C_p g h}{\lambda} \tau z \frac{\partial z}{\partial \xi} - \frac{Q \beta h^2}{\lambda} = 0. \quad (14)$$

Источник тепла Q , входящий в уравнение (14), с учетом допущений будет определяться видом горючего материала, т. е.

$$Q = \psi_{\text{уд}} Q_{\text{н}}^{\text{п}} F / V_{\text{п}}, \quad (15)$$

где $\psi_{\text{уд}}$ — удельная скорость выгорания вещества, кг/(м²·с);

$Q_{\text{н}}^{\text{п}}$ — теплотворная способность вещества, Дж/кг;

F — площадь поверхности горения, м²;

$V_{\text{п}}$ — объем помещения, м³.

Запишем уравнение (14) в окончательном виде:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial \xi^2} - \frac{\rho C_p g h}{\lambda} \tau z \frac{\partial z}{\partial \xi} - \frac{\psi_{\text{уд}} Q_{\text{н}}^{\text{п}} F \beta h^2}{V_{\text{п}} \lambda} = 0. \quad (16)$$

В уравнении (16) сделаем замены:

$$\alpha_1 = \frac{\rho C_p g h}{\lambda} \tau \quad \text{и} \quad \alpha_2 = \frac{\psi_{\text{уд}} Q_{\text{н}}^{\text{п}} F \beta h^2}{V_{\text{п}} \lambda}. \quad (17)$$

Тогда получим:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial \xi^2} - \alpha_1 z \frac{\partial z}{\partial \xi} - \alpha_2 = 0, \quad (18)$$

где α_1 и α_2 — константы, представляющие собой безразмерные комплексы.

В уравнении (18) фигурируют производные от одной независимой величины, поэтому можно перейти от частных производных к полным:

$$\frac{d^2 z}{d\xi^2} - \alpha_1 z \frac{dz}{d\xi} - \alpha_2 = 0; \quad z'' - \alpha_1 z z' - \alpha_2 = 0. \quad (19)$$

Решение уравнения (19) может быть получено с помощью [6, 7], однако предлагаемые в них решения достаточно громоздки. Порядок уравнения (19) можно понизить, если учесть, что дифференцирование уравнения вида

$$z' - \frac{1}{2} \alpha_1 z^2 - \alpha_2 \xi = 0 \quad (20)$$

приводит к уравнению (19). Решением уравнения (20) будет функция $z(\xi)$:

$$\begin{aligned} z(\xi) = & \left\{ \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2} \left[C_1 \text{AiryAi} \left(1, -\frac{1}{2} \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2} \cdot \xi \right) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \text{AiryBi} \left(1, -\frac{1}{2} \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2} \cdot \xi \right) \right] \right\} \times \\ & \times \left\{ \alpha_1 \left[C_1 \text{AiryAi} \left(-\frac{1}{2} \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2} \cdot \xi \right) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \text{AiryBi} \left(-\frac{1}{2} \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2} \cdot \xi \right) \right] \right\}^{-1} + C_2, \end{aligned} \quad (21)$$

где C_1, C_2 — константы, определяемые граничными условиями;

AiryAi , AiryBi — волновые функции, относящиеся к специальным функциям.

Для удобства дальнейших преобразований заменим волновые функции их представлениями в рядах, тогда получим:

$$\begin{aligned} \text{AiryAi} \left(1, -\frac{1}{2} \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2} \cdot \xi \right) = & -\frac{\sqrt[6]{3} \Gamma(2/3)}{2\pi} + \\ & + \frac{\sqrt[6]{6} \sqrt[3]{(\alpha_1\alpha_2)^2}}{12 \Gamma(2/3)} \xi^2 + \frac{\sqrt[6]{3} \Gamma(2/3)}{12\pi} \alpha_1\alpha_2 \xi^3; \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \text{AiryBi} \left(1, -\frac{1}{2} \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2} \cdot \xi \right) = & \frac{\sqrt[3]{9} \Gamma(2/3)}{2\pi} + \\ & + \frac{\sqrt[6]{972} \sqrt[3]{(\alpha_1\alpha_2)^2}}{12 \Gamma(2/3)} \xi^2 - \frac{\sqrt[3]{9} \Gamma(2/3)}{12\pi} \alpha_1\alpha_2 \xi^3; \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \text{AiryAi} \left(-\frac{1}{2} \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2} \cdot \xi \right) = & \frac{\sqrt[3]{3}}{3 \Gamma(2/3)} + \\ & + \frac{\sqrt[6]{3} \Gamma(2/3) \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2}}{4\pi} \xi - \frac{\sqrt[3]{3} \alpha_1\alpha_2}{36 \Gamma(2/3)} \xi^3; \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \text{AiryBi} \left(-\frac{1}{2} \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2} \cdot \xi \right) = & \frac{\sqrt[6]{243}}{3 \Gamma(2/3)} - \\ & - \frac{\sqrt[3]{9} \Gamma(2/3) \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2}}{4\pi} \xi - \frac{\sqrt[6]{243} \alpha_1\alpha_2}{36 \Gamma(2/3)} \xi^3, \end{aligned} \quad (25)$$

где $\Gamma(2/3)$ — гамма-функция из области специальных функций; $\Gamma(2/3) = 1,3541$.

Безразмерный коэффициент α_1 содержит независимый параметр τ , поэтому в уравнении (21) выходной параметр представляет собой двухпараметрическую функцию вида $z(\xi, \tau)$. Граничные условия для данной задачи будут следующие:

$$z(\xi, \tau) = 1 \text{ при } \xi = 0 \text{ и } \tau = 0. \quad (26)$$

С учетом (26) определяются константы, входящие в уравнение (21):

$$C_1 = \frac{2\alpha_1 \pi \sqrt[6]{243} - 3 \sqrt[3]{9} \Gamma(2/3)^2 \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2}}{3 \sqrt[3]{9} \Gamma(2/3)^2 \sqrt[3]{4\alpha_1\alpha_2} + 2\alpha_1 \pi \sqrt[6]{243}}; C_2 = 1. \quad (27)$$

Уравнение (21) с учетом (22)–(25) и (27) преобразуем к виду:

$$\begin{aligned} z(\xi, \tau) = & \frac{\sqrt[3]{\alpha_1(\tau)\alpha_2}}{k} \times \\ & \times (\varphi_1(\tau)\xi^3 + \varphi_2(\tau)\xi^2 + \varphi_3(\tau)) + 1, \end{aligned} \quad (28)$$

где

$$\begin{aligned} \varphi_1(\tau) = & -[0,043(-18,16 \sqrt[3]{\alpha_1(\tau)\alpha_2} + \\ & + 15,7\alpha_1(\tau)) \alpha_1(\tau) \alpha_2] \times [10,49 \sqrt[3]{\alpha_1(\tau)\alpha_2} + \\ & + 9,062\alpha_1(\tau)]^{-1} - 0,075\alpha_1(\tau) \alpha_2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_2(\tau) = & -[0,112(-18,16 \sqrt[3]{\alpha_1(\tau)\alpha_2} + \\ & + 15,7\alpha_1(\tau)) \sqrt[3]{(\alpha_1(\tau)\alpha_2)^2}] \times [10,49 \sqrt[3]{\alpha_1(\tau)\alpha_2} + \\ & + 9,062\alpha_1(\tau)]^{-1} + 0,194 \sqrt[3]{(\alpha_1(\tau)\alpha_2)^2}; \end{aligned}$$

$$\varphi_3(\tau) = \frac{0,26(-18,16 \sqrt[3]{\alpha_1(\tau)\alpha_2} + 15,7\alpha_1(\tau))}{10,49 \sqrt[3]{\alpha_1(\tau)\alpha_2} + 9,062\alpha_1(\tau)} + 0,45.$$

Уравнение (28) определяет распределение температуры в помещении при условии свободной конвекции в рамках одномерной модели. Особенностью данного уравнения является то, что его составляющие являются безразмерными величинами, а коэффициенты α_1 и α_2 представляют собой безразмерные комплексы. В связи с этим можно рассматривать уравнение (28) как критериальное и использовать его при описании тепловых процессов в реальных объектах методом моделирования на экспериментальных установках [8].

Модель (28) динамики температурного режима в помещении может быть применима для описания усредненных значений температуры в нем при наличии открытого пламени или источника тепловой энергии. Однако, как показывает практический опыт анализа температурного режима в помещении, температура на различных высотах существенно разнится. Например, температура у пола и у потолка помещения при наличии аэрационных фонарей в системе вентиляции может отличаться на десятки градусов.

Для представления модели (28) в графическом виде рассмотрим конкретную ситуацию процесса возникновения пожара в модельном эксперименте. Лабораторная установка, в которой были проведены эксперименты, представляет собой подобие помещения размером $0,9 \times 0,9 \times 0,54 \text{ м} = 0,437 \text{ м}^3$. Параметры, которые учитывались в эксперименте, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры, используемые в модельном эксперименте

№ п/п	Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
1	Плотность воздуха	ρ	кг/м ³	1,29
2	Удельная теплоемкость воздуха	C_p	Дж/(кг · К)	1005
3	Коэффициент теплопроводности воздуха	λ	Вт/(м · К)	0,024
4	Удельная скорость выгорания вещества	$\psi_{уд}$	кг/(м ² · с)	0,015
5	Теплотворная способность вещества (древесины)	Q_n^p	Дж/кг	$13,6 \cdot 10^6$
6	Площадь поверхности горения	F	м ²	0,6
7	Коэффициент теплового расширения воздуха	β	К ⁻¹	273^{-1}
8	Объем помещения	$V_{п}$	м ³	0,437
9	Высота помещения	h	м	0,54
10	Время	τ	с	Независимый параметр
11	Температура воздуха в помещении	t	°С	Выходной параметр
12	Начальная температура теплового процесса	t_0	°С	17
13	Безразмерная температура	z	1	Выходной параметр
14	Безразмерная высота	ξ	1	Независимый параметр
15	Безразмерный коэффициент	α_1	1	$2,862 \cdot 10^5 \tau$
16	Безразмерный коэффициент	α_2	1	$1,264 \cdot 10^4$

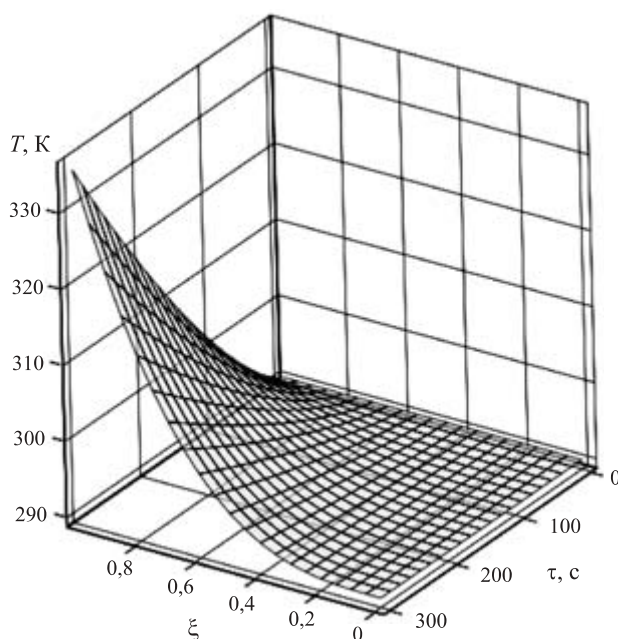
Учитывая, что действительная температура связана с $z(\xi, \tau)$ соотношением (10), из которого можно получить

$$t(\xi, \tau) = \frac{1 - z(\xi, \tau)}{\beta} + t_0, \quad (29)$$

и переходя к термодинамической шкале Кельвина, получим:

$$T(\xi, \tau) = t(\xi, \tau) + 273. \quad (30)$$

По уравнению (30) построена поверхность, показанная на рис. 2.

**Рис. 2.** График поверхности, построенной по уравнению (30)**Таблица 2.** Полученные в экспериментах данные по температуре воздуха в помещении в начальной стадии возгорания

T_2, K	290,5	293,0	295,5	300,5	307,5	309,0
τ_{k2}, c	48	87	111	155	212	257

Установив в ходе модельного эксперимента на лабораторной установке средние значения температуры воздуха на высоте $x = 0,432$ м, с учетом (13) получим $\xi = 0,8$. Экспериментальные данные по температуре воздуха и времени фиксации соответствующей температуры τ_{k2} представлены в табл. 2.

Положив в уравнении (30) $\xi = 0,8$ и учитывая данные табл. 1–3, получим график, показанный на рис. 3. На этом графике представлена зависимость (кривая 1), построенная по данным (см. табл. 1), по-

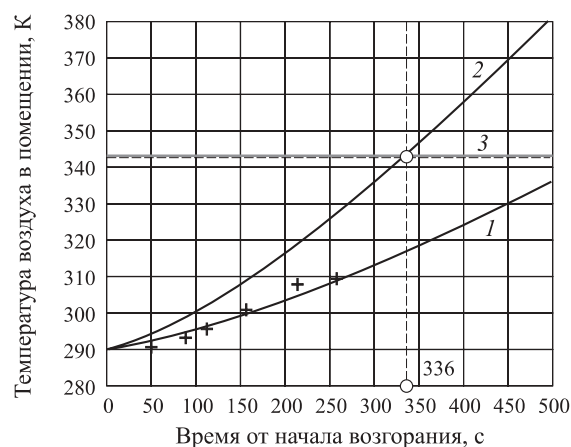
**Рис. 3.** Зависимость температуры воздуха в помещении от времени с момента возгорания, построенная по уравнению (30)

Таблица 3. Параметры, используемые для прогнозирования времени достижения критического значения температуры в помещении при возникновении пожара

№ п/п	Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
1	Плотность воздуха	ρ	кг/м ³	1,29
2	Удельная теплоемкость воздуха	C_p	Дж/(кг · К)	1005
3	Коэффициент теплопроводности воздуха	λ	Вт/(м · К)	0,024
4	Удельная скорость выгорания вещества	$\psi_{уд}$	кг/(м ² · с)	0,015
5	Теплотворная способность вещества (древесина)	Q_n^p	Дж/кг	$13,6 \cdot 10^6$
6	Площадь поверхности горения	F	м ²	1
7	Коэффициент теплового расширения воздуха	β	К ⁻¹	273^{-1}
8	Объем помещения	$V_{п}$	м ³	129,6
9	Высота помещения	h	м	3,6
10	Начальная температура теплового процесса	t_0	°С	17

лученным на экспериментальной установке, и нанесены экспериментальные точки (+) (см. табл. 2).

Кривая 2, построенная по данным табл. 3, предназначена для определения времени достижения критического значения температуры в производственном помещении размером $6 \times 6 \times 3,6 \text{ м} = 129,6 \text{ м}^3$ при наличии возгорания древесных материалов площадью $F = 1 \text{ м}^2$ в центре помещения. Критическая температура при пожаре $T_{kr}(\tau) = 343 \text{ К}$ (кривая 3).

Из графика рис. 3 видно, что критическое значение температуры будет достигнуто через 336 с от начала возгорания.

Полученная модель, представленная уравнениями (28)–(30), позволяет оценивать параметры температурного процесса возгорания на уменьшенных макетах объектов и выдавать рекомендации для реальных объектов в целях повышения их пожаробезопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мурзинов В. Л., Паршин М. В., Паршина А. П. Моделирование температурного режима пожара с учетом работы вентиляции в негерметичном помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 6. — С. 56–60.
2. Пузач С. В., Абакумов Е. С. К определению высоты пламенной зоны при диффузионном горении жидкости // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 2. — С. 31–34.
3. Сазонова С. А. Моделирование неустойчившегося и установившегося потокораспределения систем теплоснабжения // Инженерные системы и сооружения : научный журнал. — 2013. — № 1. — С. 55–60.
4. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М. : Атомиздат, 1979. — 416 с.
5. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. — М. : Наука, 2003. — 840 с.
6. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. — СПб. : Изд-во “Лань”, 2003. — 576 с.
7. Зайцев В. Ф., Полянин А. Д. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. — М. : Физматлит, 2001. — 576 с.
8. Сытдыков М. Р., Кожевни Д. Ф., Поляков А. С. Оценка совершенства пневматического тракта порошковых огнетушителей на основе метода анализа размерностей // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 4. — С. 51–54.

Материал поступил в редакцию 11 августа 2014 г.

English

MODELING OF TEMPERATURE IN THE ROOM AT PRESENCE OF THE OPEN FLAME IN CONDITIONS OF FREE CONVECTION

MURZINOV V. L., Doctor of Technical Sciences, Professor of Fire and Industrial Department, Voronezh State University of Architecture and Construction (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail address: dr.murzinov@yandex.ru)

PARSHIN M. V., Postgraduate Student of Faculty of Fire and Industrial Safety, Voronezh State University of Architecture and Construction (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail address: maxipi@yandex.ru)

ABSTRACT

The non-stationary task of definition of a temperature field in a room in an initial stage of a fire is considered in view of the basic thermal and physical parameters in conditions of free convection. The assumption has been made, that the model of movement of air is one-dimensional and free convection is provided with natural ventilation by use aeration lanterns. Efficiency of the received decision has been checked up on the experimental installation representing the reduced breadboard model of a real room. The opportunity of forecasting of time of achievement of critical value of temperature in a room in an initial stage of a fire by a method of graphic construction of the current and critical values of temperature is shown.

Keywords: fire; convective heat transfer; free convection; thermal and physical parameters; critical temperature.

REFERENCES

1. Murzinov V. L., Parshin M. V., Parshina A. P. Modelirovaniye temperaturnogo regima pozhara s uchetoм raboty ventilyatsii v nehermetichnom pomeshchenii [Modeling of temperature in fire regimes with a view of the work of emergency ventilation in permeable environment]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Safety Explosion*, 2013, vol. 22, no. 6, pp. 56–60.
2. Puzach S. V., Abakumov E. S. K opredeleniyu vysoty plamennoy zony pri diffuzionnom gorenii zhidkosti [Definition of flame height zone in case of liquid diffusion combustion]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Safety Explosion*, 2012, vol. 21, no. 2, pp. 31–34.
3. Sazonov S. A. Modelirovaniye neustanovivshegosya i ustanovivshegosya potokoraspredeleniya sistem teplosnabzheniya [Modelling unsteady and established flux-distribution systems of a heat supply]. *Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya. Nauchnyy zhurnal. — Engineering Systems and Constructions. Scientific Magazine*, 2013, no. 1, pp. 55–60.
4. Kutateladze S. S. *Osnovy teorii teploobmena* [Base of the theory of heat exchange]. Moscow, Atomizdat, 1979. 416 p.
5. Loytsyanskiy L. G. *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Mechanics of a liquid and gas]. Moscow, Nauka Publ., 2003. 840 p.
6. Kamke E. *Spravochnik po obyknovennym differentsialnym uravneniyam* [Spravochnik on the ordinary differential equations]. Saint Petersburg, Publishing house “Lan”, 2003. 576 p.
7. Zaytsev V. F., Polyanin A. D. *Spravochnik po obyknovennym differentsialnym uravneniyam* [Spravochnik on the ordinary differential equations]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2001. 576 p.
8. Sytdykov M. R., Kozhevin D. F., Polyakov A. S. Otsenka sovershenstva pnevmaticheskogo trakta poroshkovykh ognetushiteley [Estimation of pneumatic powder extinguisher tract on the basis of the method of analysis of dimensions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Safety Explosion*, 2012, vol. 21, no. 4, pp. 51–54.

Н. М. БАРБИН, д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой химии Уральского государственного аграрного университета (Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42); старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: NMBarbin@mail.ru)

М. Р. ШАВАЛЕЕВ, преподаватель кафедры пожарной тактики и службы Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

Д. И. ТЕРЕНТЬЕВ, канд. хим. наук, доцент кафедры физики и теплообмена Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

С. Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. хим. наук, 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 ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Alexshome@mail.ru)

УДК 541.11

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ НАГРЕВЕ (СЖИГАНИИ) РАДИОАКТИВНОГО ГРАФИТА В АТМОСФЕРЕ АЗОТА

Проведено термодинамическое моделирование системы *радиоактивный графит – азот* с применением программного комплекса ТЕРРА. Установлено, что радиоактивный плутоний присутствует в виде конденсированных соединений PuC_2 , PuC , Pu_2C_3 и паров Pu ; радиоактивный уран – конденсированных UC , UC_2 , U_2C_3 и паров U ; радиоактивный хлор – парообразных соединений Cl , CCl , $ClCN$, Cl_2 ; радиоактивный бериллий – конденсированного Be_3N_2 и парообразных $BeCl_2$, $BeCl$, Be , BeC_2 ; радиоактивный кальций – конденсированных Ca_3N_2 , $CaCl_2$, CaC_2 и парообразных Ca , $CaCl$, $CaCl_2$; радиоактивный никель – конденсированного Ni и парообразных Ni , Ni_3C ; радиоактивный стронций – конденсированных $SrCl_2$, SrC_2 и парообразных Sr , $SrCl$, $SrCl_2$; радиоактивный америций – конденсированного и парообразного Am ; радиоактивный цезий – конденсированного $CsCl$ и парообразных соединений Cs и $CsCl$. Продуктом сжигания углерода при температуре выше 2400 К являются пары CN , C_2N_2 и газообразный кластер C_3 .

Ключевые слова: радиоактивный графит; термодинамическое моделирование; радионуклиды; окисление; нагревание.

В мире около 17 % энергии вырабатывается на атомных электростанциях (АЭС). В некоторых типах реакторов предусматривается использовать в качестве замедлителя и отражателя графит, а внутреннюю часть реакторного пространства заполнять инертным газом (чаще всего азотом). К таким типам реакторов относятся реакторы большой мощности канальные — РБМК (по классификации МАГАТЭ — графитно-водные ядерные реакторы) и газовые реакторы с шаровой засыпкой [1, 2].

Находящийся в реакторном пространстве графит со временем накапливает в себе небольшое количество урана (^{235}U), элементы превращения (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Am и т. д.), радионуклиды (такие, как тритий и ^{14}C), а также продукты деления (^{137}Cs , ^{90}Sr и т. п.) [3].

При эксплуатации реактора могут возникать различные нештатные ситуации, которые приводят к повышению температуры в активной зоне в результате разгона реактора без разрушения реакторного пространства [4].

Радиоактивные элементы при нагревании графита в зависимости от их летучести либо остаются с негорючей частью, либо испаряются. Газообразные радиоактивные элементы конденсируются на более крупных частицах в потоке газов или образуют собственную субмикронную аэрозоль. Данный радиоактивный газ будет присутствовать в системе охлаждения и в случае ее разгерметизации может попасть в окружающую среду. При этом радиоактивные частицы легко распространяются на большие расстояния, оседают на поверхность земли, водоемов, растительных и продовольственных культур [3].

В настоящей работе изучалось поведение радионуклидов при нагревании радиоактивного графита в атмосфере азота. Поведение радиоактивных элементов не отличается от поведения их нерадиоактивных изотопов [5].

Исследования проводили методом термодинамического моделирования, который успешно использовался для изучения неорганических веществ при

Таблица 1. Исходный состав системы

Фаза	Фазовый состав	Содержание, % масс.
Газовая (90,9 %)	N ₂	100
Конденсированная (9,1 %)	C	99,98
	U	$1,16 \cdot 10^{-2}$
	Cl	$1,9 \cdot 10^{-3}$
	Ca	$2,7 \cdot 10^{-4}$
	Pu	$7,3 \cdot 10^{-5}$
	Be	$1,2 \cdot 10^{-5}$
	Ni	$8,2 \cdot 10^{-6}$
	Cs	$3,4 \cdot 10^{-6}$
	Am	$9,3 \cdot 10^{-6}$
	Sr	$1,1 \cdot 10^{-6}$

высоких температурах в металлургии и материаловедении [6–8], а также в физике [9–12].

Теоретические основы термодинамического моделирования приведены в работе [5]. Данный расчет проводился при помощи программы ТЕРРА, которая показала свою эффективность при исследовании высокотемпературных процессов, поскольку экспериментальные методики не всегда позволяют получить полные и надежные сведения о свойствах и поведении веществ при $T > 2000$ К в связи с затруднениями, возникающими при проведении опытов, и ошибками измерений.

Измерения проводили в атмосфере азота при начальном давлении $P = 0,98 \cdot 10^5$ Па (1 ати). Температура изменялась от 370 до 3300 К с шагом 100 К [13]. В расчетах учитывались только компоненты с содержанием не менее 10^{-10} моль. Временем, которое требуется для изменения фазового состояния, газообменом с окружающей средой и скоростью протекания реакции пренебрегали.

Радиоактивные элементы, присутствующие в реакторном графите, и их химические разновидности, необходимые для термодинамического моделирования, приведены в табл. 1.

Исходная система окисления радиоактивного графита в атмосфере азота состоит из газовой и конденсированной фаз. Газовая фаза содержит азот, конденсированная — представляет собой радиоактивный графит. Состав исходной системы приведен в табл. 2.

Состав равновесной газовой фазы представлен на рис. 1. Основным компонентом фазы является газ N₂, парциальное давление которого практически не изменяется и составляет около 0,99 атм.

Состав конденсированной фазы представлен на рис. 2, из которого видно, что наиболее значимыми компонентами являются UC, CaCl₂, UC₂, CaC₂, Ca₃N₂ с концентрациями выше 0,1 мол. дол. При темпера-

Таблица 2. Формы существования радионуклидов в графите и равновесной системе

Радионуклид в графите	Тип соединения в равновесной системе
¹⁰ Be	Be _(г) , BeCl _(г) , BeCl _{2(г)} , Be ₃ N ₂ , BeC _{2(г)} , Be ₂ C _(г)
¹⁴ C	C, C _(г) , C _{2(г)} , C _{3(г)} , C _{4(г)} , C _{5(г)} , Ni ₃ C, CCl _(г) , C ₂ Cl _(г) , CN _(г) , CN _{2(г)} , C ₂ N _(г) , C ₂ N _{2(г)} , N ₂ C _(г) , ClCN _(г) , UC, UC ₂ , U ₂ C ₃ , PuC, PuC ₂ , Pu ₂ C ₃ , BeC _{2(г)} , Be ₂ C
²³⁹ Pu, ²⁴⁰ Pu, ²⁴¹ Pu, ²⁴² Pu	Pu _(г) , PuC, PuC ₂ , Pu ₂ C ₃
²³⁸ U, ²³⁶ U, ²³⁵ U	U _(г) , UCl _(г) , UCl _{2(г)} , UCl _{3(г)} , UCl _{4(г)} , UC, UC ₂ , U ₂ C ₃
³⁶ Cl	Cl _(г) , Cl _{2(г)} , CCl _(г) , C ₂ Cl _(г) , ClCN _(г) , CaCl _(г) , CaCl _{2(г)} , CaCl ₂
⁴¹ Ca	Ca _(г) , CaCl _(г) , CaCl ₂ , CaCl _{2(г)} , Ca ₃ N ₂ , CaC ₂
⁵⁹ Ni	Ni _(г) , NiCl _(г) , NiCl _{2(г)} , Ni, Ni ₃ C
⁹⁰ Sr	Sr _(г) , SrCl _(г) , SrCl ₂ , SrCl _{2(г)} , SrC ₂
¹³⁷ Cs, ¹³⁴ Cs	Cs _(г) , CsCl, CsCl _(г) , Cl ₂ Cs _{2(г)}
²⁴¹ Am, ²⁴³ Am	Am, Am _(г)
¹⁵⁴ Eu, ¹⁵⁵ Eu, ¹⁵² Eu	Eu, Eu _(г) , EuCl ₂ , EuCl _{3(г)}

турах T выше 2870 К преобладающим компонентом становится Cl₂Cs₂ с концентрацией 0,99 мол. дол.

Распределение углерода по фазам показано на рис. 3. Из графика видно, что при температурах до 2400 К углерод находится в конденсированной фазе C. Дальнейшее возрастание температуры приводит к появлению паров CN, C₃, C₂N₂.

Распределение плутония между конденсированной и газовой фазами показано на рис. 4. В температурном диапазоне от 370 до 1700 К плутоний находится в конденсированной фазе, преимущественно в виде соединения PuC₂ (более 90 мол. %). При достижении 1800 К происходит образование газовой фазы, а при 2450 К плутоний практически полностью переходит в пар.

Распределение урана в системе представлено на рис. 5, из которого видно, что при температурах до 2370 К весь уран находится в конденсированной фазе в виде соединений UC, UC₂, U₂C₃. Дальнейшее нагревание системы приводит к образованию газовой фазы U. При температуре выше 2800 К уран находится только в газообразной фазе.

Распределение хлора по фазам приведено на рис. 6. В температурном диапазоне от 373 до 3273 К хлор находится только в газовой фазе. Причем при температуре до 770 К хлор присутствует в виде Cl₂ (32 мол. %), Cl (17 мол. %), CCl (17 мол. %), C₂Cl (17 мол. %) и ClCN (17 мол. %). Дальнейшее нарастание температуры приводит к возрастанию концент-

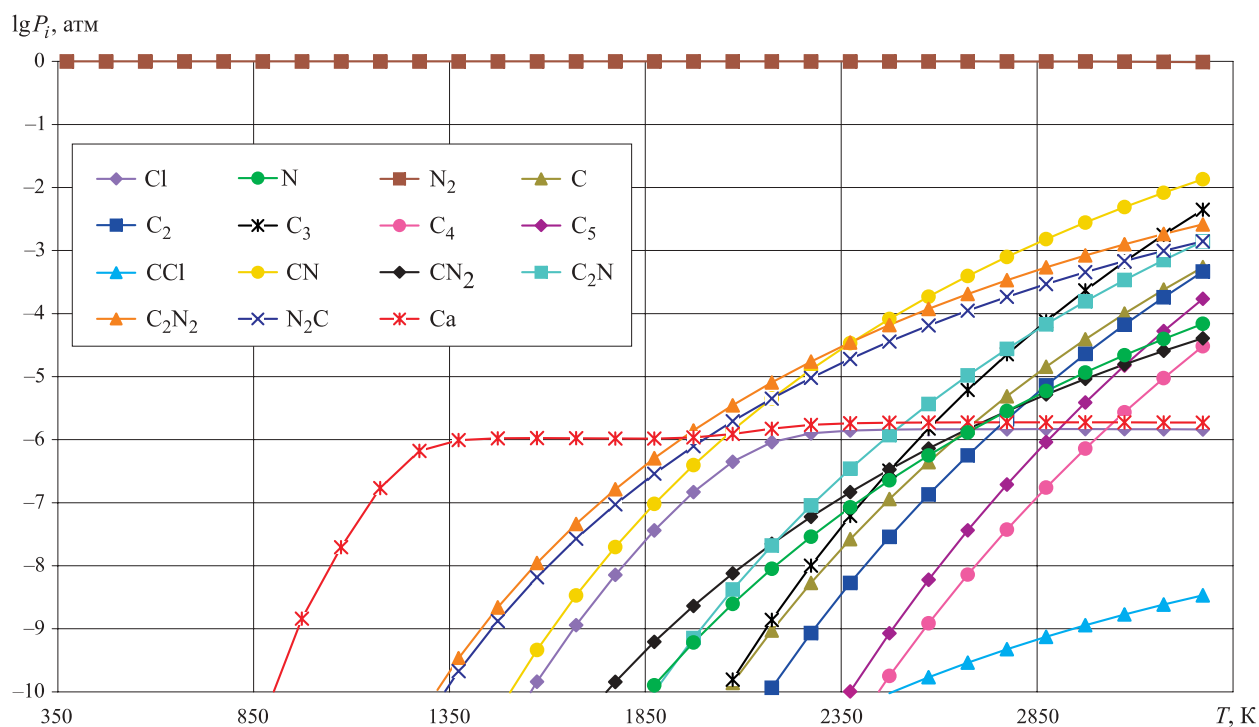


Рис. 1. Равновесный состав газовой фазы

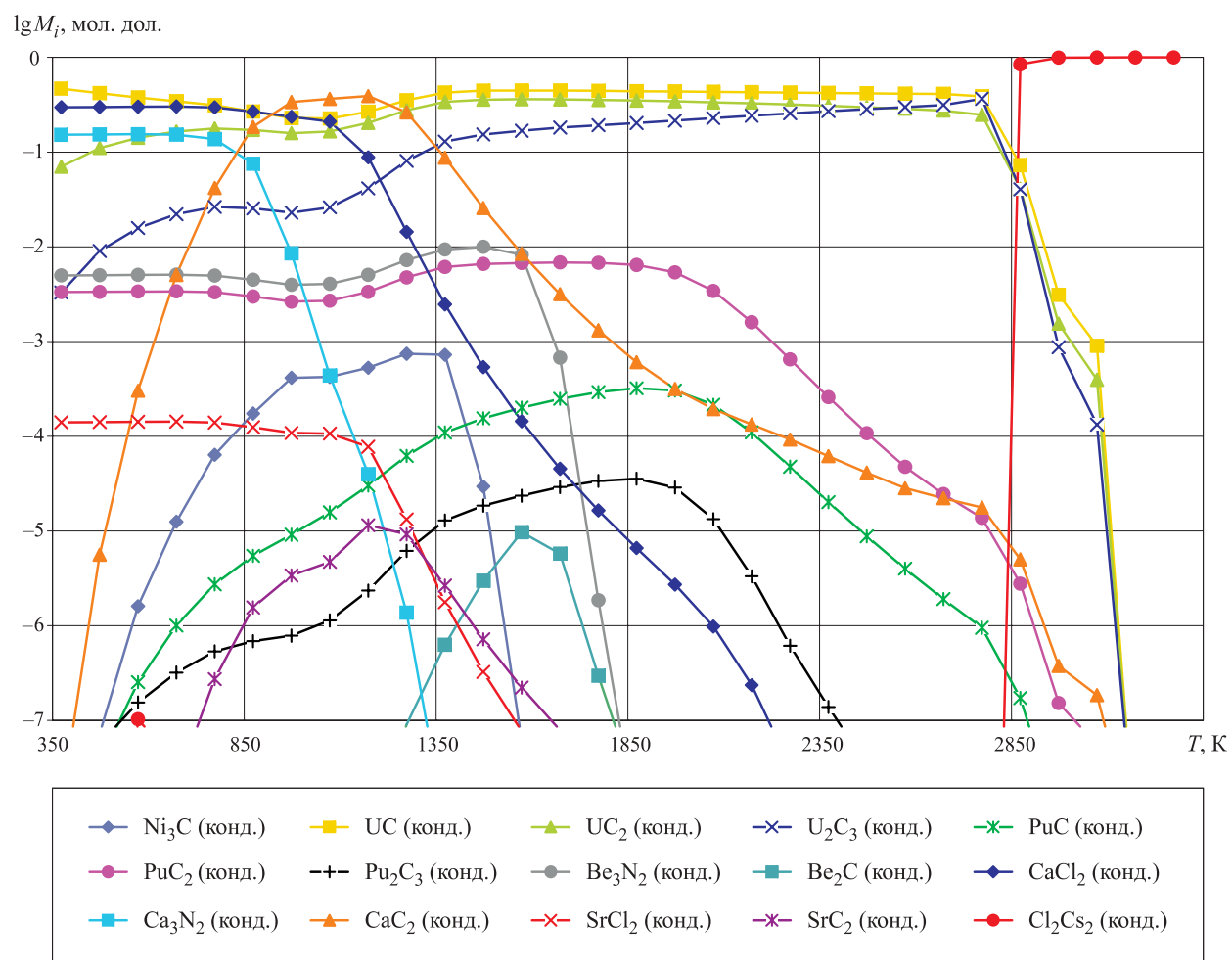


Рис. 2. Равновесный состав конденсированной фазы: M_i — концентрация i -го компонента в системе в мольных долях (1,00 мол. дол. = 100 мол. %)

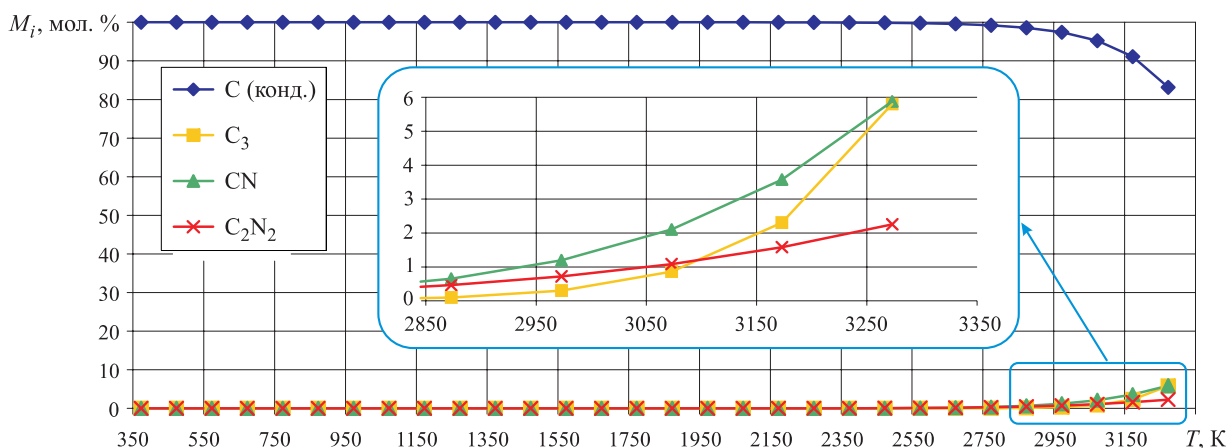


Рис. 3. Распределение углерода по фазам

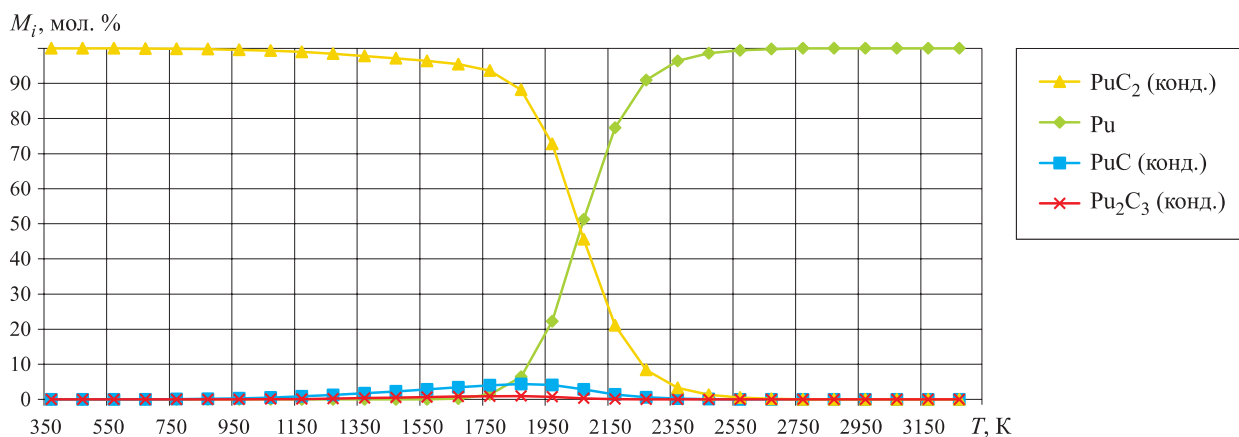


Рис. 4. Распределение плутония по фазам

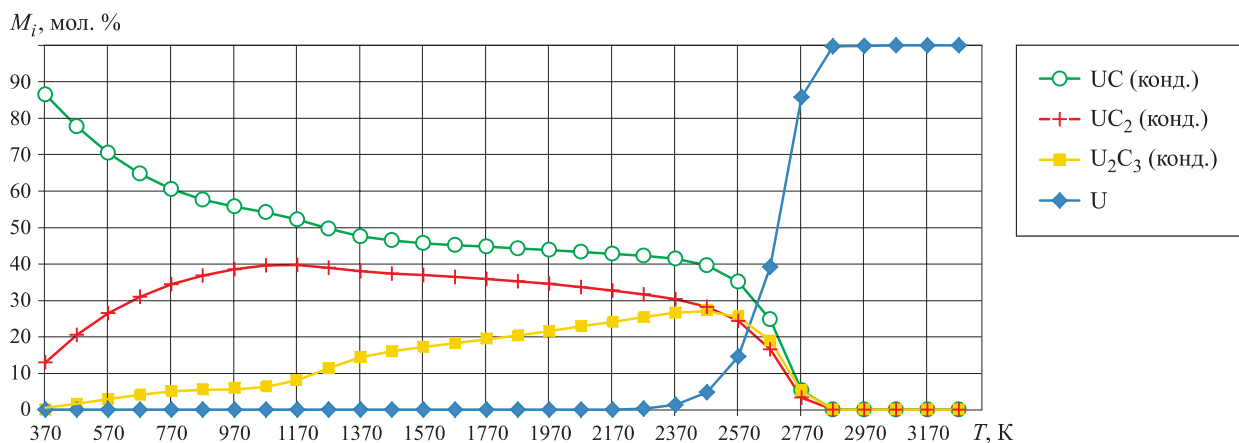


Рис. 5. Распределение урана по фазам

рации атомарного Cl, а при температуре 970 К его концентрация составляет 98–99 мол. %.

Распределение бериллия по фазам представлено на рис. 7. Из графика видно, что при температурах ниже 1400 К бериллий находится в конденсированной фазе в виде соединения Be_3N_2 . Дальнейший рост температуры приводит к резкому уменьшению содержания конденсированной фазы и нарастанию концентрации газообразной фазы в виде соединений Be,

BeCl_2 , BeC_2 . В температурном интервале от 1770 до 2170 К наблюдается полное отсутствие Be_3N_2 и преобладание Be (около 80 мол. %). При дальнейшем росте температуры до 3170 К содержание Be снижается, а концентрация BeC_2 возрастает.

Распределение по фазам кальция показано на рис. 8. В температурном диапазоне 370–970 К соединения с кальцием находятся в конденсированной фазе. Так, в интервале 370–770 К наблюдается

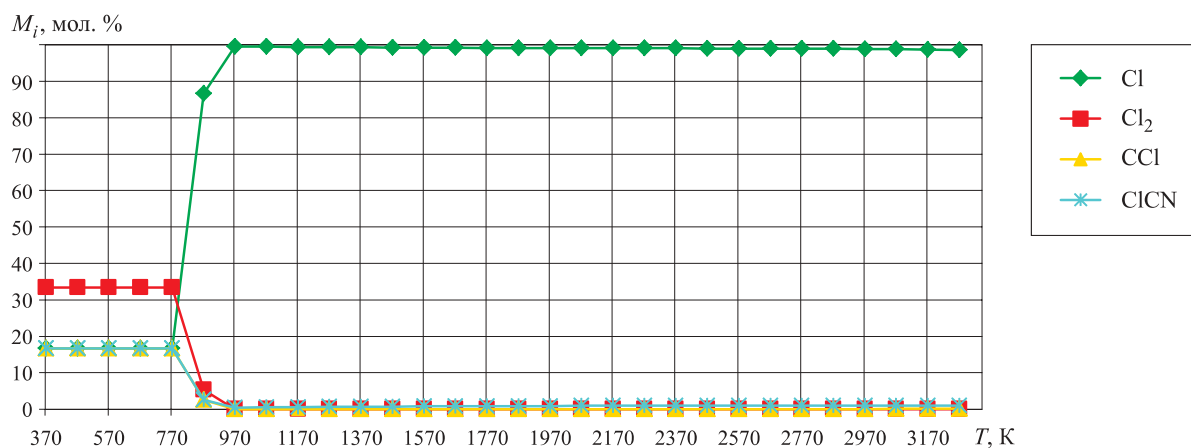


Рис. 6. Распределение хлора по фазам

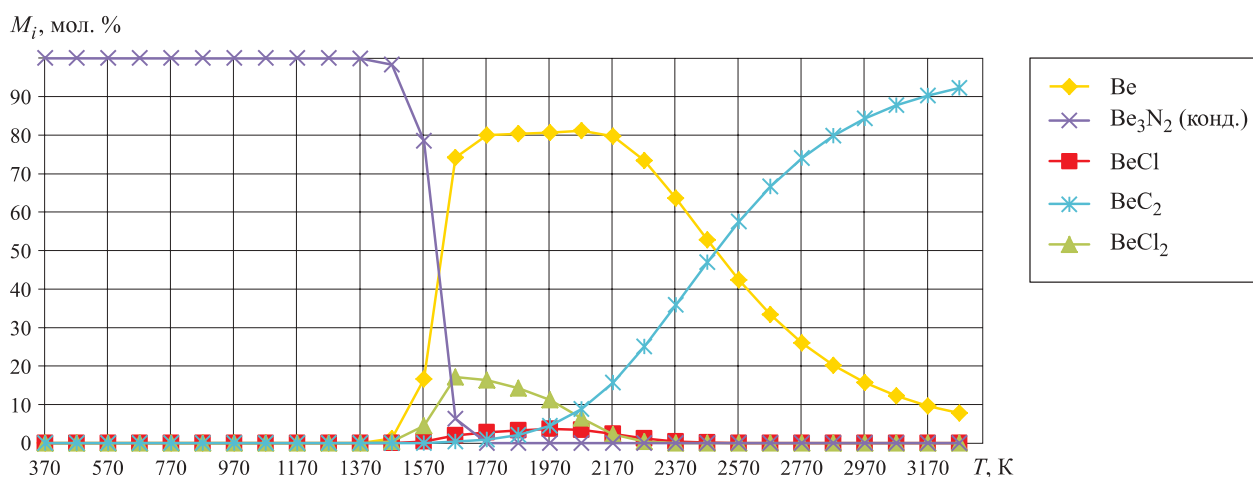


Рис. 7. Распределение бериллия по фазам

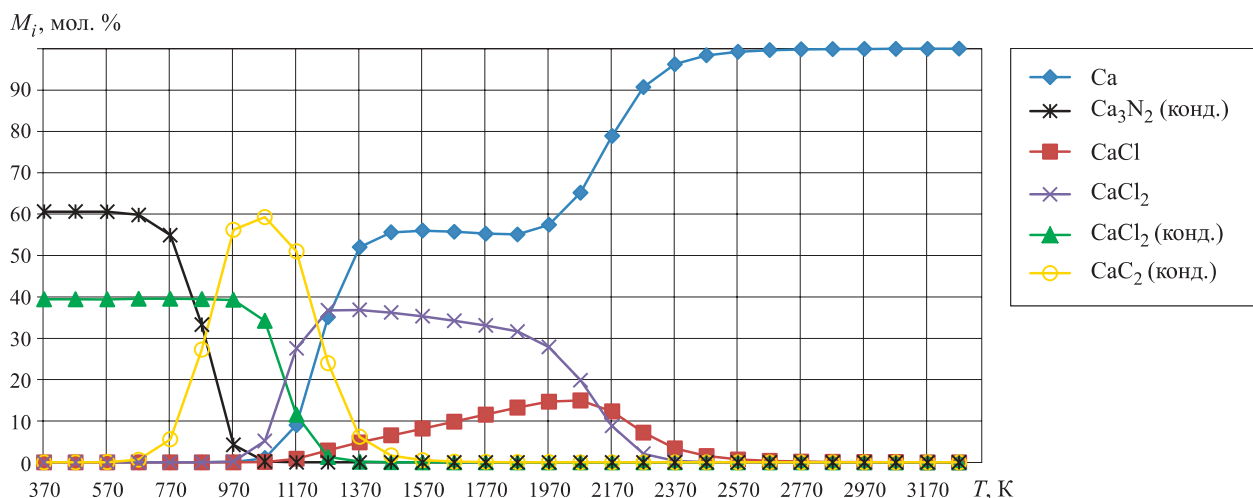


Рис. 8. Распределение кальция по фазам

преобладание Ca_3N_2 (около 60 мол. %) и CaCl_2 (около 40 мол. %). Рост температуры до 970 К приводит к уменьшению концентрации Ca_3N_2 и CaCl_2 и возрастанию содержания CaC_2 до 60 мол. %. Дальнейшее нагревание до 3300 К вызывает появление паров Ca, CaCl_2 и CaCl . При 2370–3300 К кальций остается в системе в виде паров Ca.

Фазовый баланс никеля приведен на рис. 9. При 370–570 К никель находится полностью в виде конденсированного Ni. При температурах 570–970 К образуется карбид никеля Ni_3C , концентрация которого при росте температур до 1200 К повышается почти до 100 мол. %. Дальнейшее нагревание до 1570 К приводит к образованию паров Ni. В диапа-

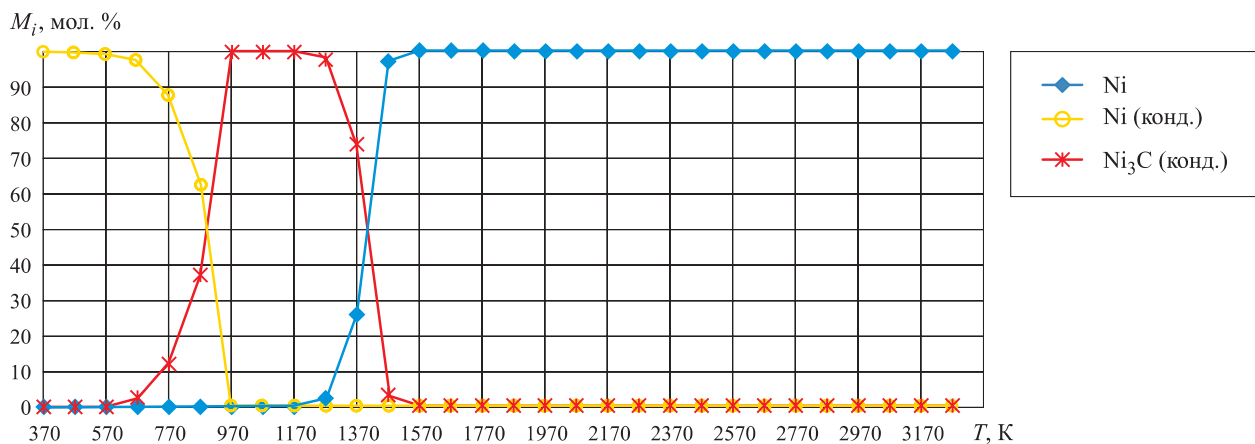


Рис. 9. Распределение никеля по фазам

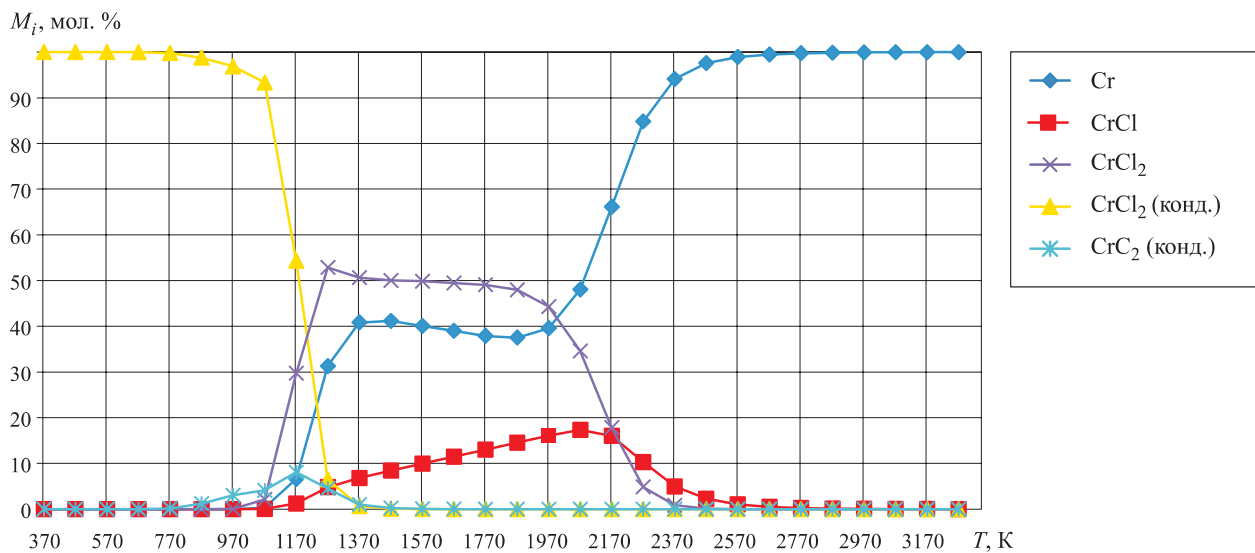


Рис. 10. Распределение стронция по фазам

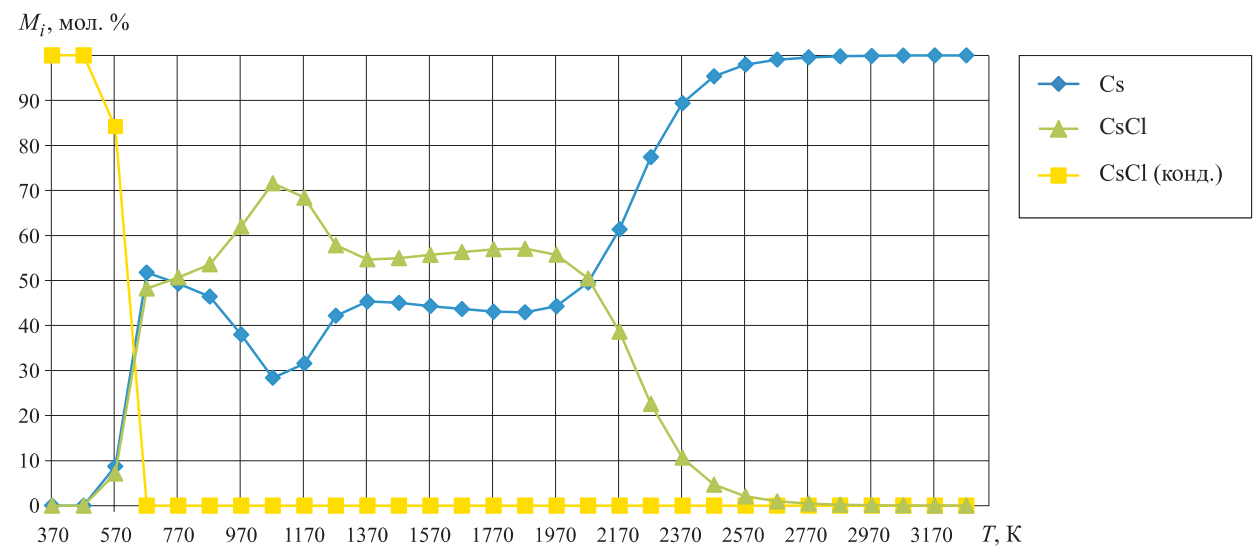


Рис. 11. Распределение цезия по фазам

зоне температур 1570–3170 К пары Ni составляют около 100 мол. %.

Распределение стронция по фазам представлено на рис. 10. При температурах 370–970 К стронций

находится в конденсированной фазе, преимущественно в виде SrCl_2 (100–97 мол. %). В температурном интервале 970–1370 К концентрация конденсированного SrCl_2 и SrC_2 уменьшается до нуля, а со-

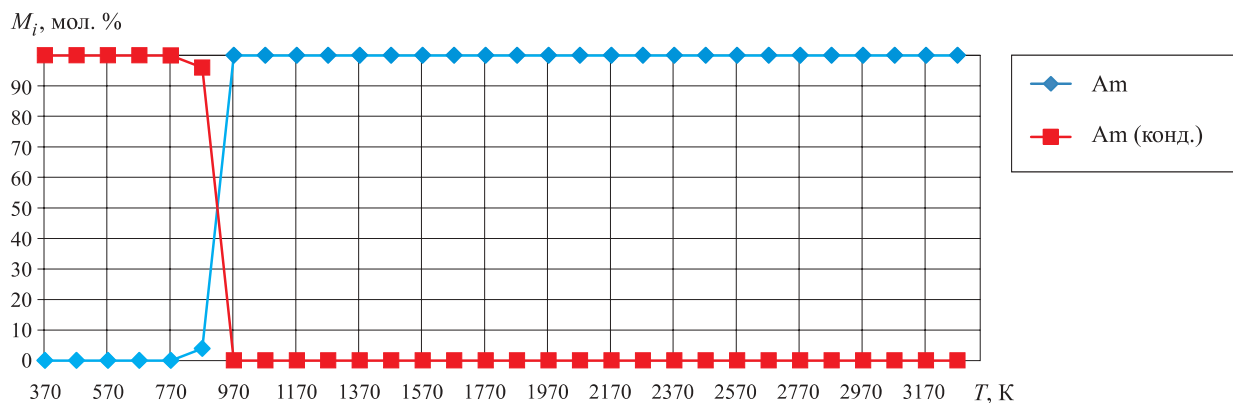


Рис. 12. Распределение америция по фазам

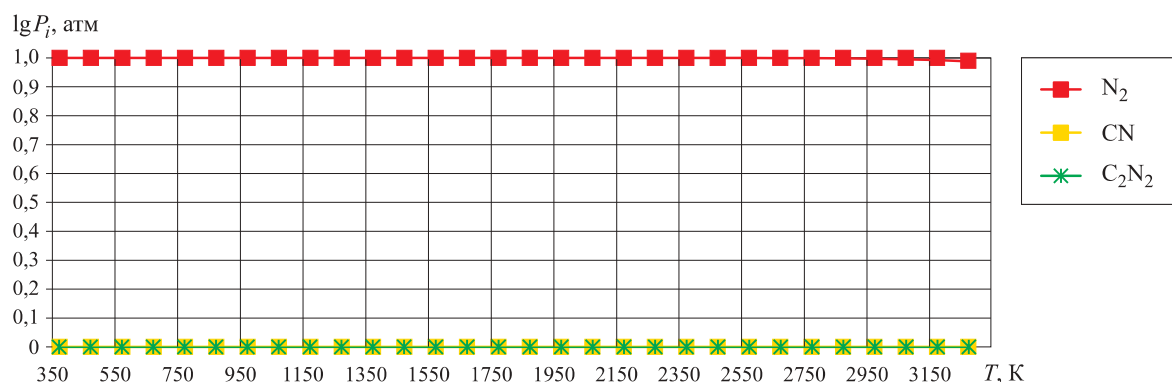


Рис. 13. Распределение азота по фазам

держание паров Sr , SrCl_2 и SrCl растёт. В диапазоне температур 1270–1970 К наблюдается наличие паров SrCl_2 (~50 мол. %), Sr (~38 мол. %), SrCl (~12 мол. %). Дальнейший рост температур до 3270 К приводит к увеличению концентрации паров металлического стронция.

Распределение цезия по фазам показано на рис. 11. В пределах 370–470 К цезий находится в конденсированном состоянии в виде соединения CsCl . Дальнейшее нагревание до 570 К приводит к образованию паров CsCl и Cs . В температурном интервале 670–2070 К преобладают пары CsCl . При температурах 2070–3270 К происходит повышение концентрации паров Cs и уменьшение доли паров CsCl .

Фазовый баланс америция в системе представлен на рис. 12. При температурах от 370 до 770 К америций находится в конденсированном состоянии в виде металла Am . В интервале 700–970 К образуются пары Am . При дальнейшем нагревании весь Am переходит в пар.

Из фазового баланса азота (рис. 13) можно сделать вывод, что во всем температурном интервале преобладает азот в виде газообразного соединения N_2 , парциальное давление которого составляет около 0,99 атм. При высоких температурах наблюдается рост концентрации газообразных соединений углерода и азота в виде CN и C_2N_2 .

На основе термодинамического моделирования можно предложить следующую схему взаимодействия радиоактивного графита с азотом.

В интервале температур от 370 до 2870 К происходят физико-химические процессы с участием радионуклидов (см. рис. 4–12). Значения температур, при которых радионуклиды находятся в парообразном состоянии и не претерпевают в дальнейшем никаких физико-химических превращений, приведены в табл. 3. В нее не входит бериллий, так как при температуре 3170 К образуются два соедине-

Таблица 3. Температура нахождения радионуклидов в парообразном состоянии для системы радиоактивный графит – азот

Химический элемент (соединение)	Температура, К
Pu	2650
U	2870
Cl	970
Ca	2570
Ni	1570
Sr	2670
Cs	2770
Am	970

ния парообразной фазы — BeC_2 и Be , а дальнейший рост температуры в системе приводит к уменьшению концентрации паров Be и увеличению содержания BeC_2 .

При температурах выше 2750 К (см. рис. 3) азот начинает взаимодействовать с углеродом, в результате чего в равновесной системе уменьшается кон-

центрация углерода и возрастает содержание газобразных CN , C_2N_2 и C_3 .

Наряду с успешно применяемыми нами теоретическими и экспериментальными методами [14–24], термодинамическое моделирование позволяет оценить поведение веществ при нагреве и оценить их пожаровзрывобезопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скачек М. А. Обращение с отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. — М. : Изд. дом МЭИ, 2007. — 448 с.
2. Матвеев Л. В., Рудик А. П. Почти все о ядерном реакторе. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — С. 110–112.
3. Yang H.-C., Eun H.-C., Lee D.-G. Behavior of radioactive elements during thermal treatment of nuclear graphite waste. Thermodynamic model analysis // J. of Nuclear Science and Technology. — 2005. — Vol. 42, No. 10. — P. 869–876.
4. Микеев А. К. Противопожарная защита АЭС. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 285 с.
5. Барбин Н. М., Терентьев Д. И., Пешков А. В., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделирование поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в атмосфере воздуха // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23 № 3. — С. 58–63.
6. Барбин Н. М., Казанцев Г. Ф., Ватолин Н. Л. Переработка вторичного свинцового сырья в ионных солевых расплавах. — Екатеринбург : УрО РАН, 2002. — 180 с.
7. Barbin N., Terentiev D., Alexeev S., Barbina T. Thermodynamic modeling of the Pb + Bi melt evaporation under various pressure and temperatures // Computational Materials Science. — 2013. — Vol. 66. — P. 28–33.
8. Терентьев Д. И., Барбин Н. М., Борисенко А. В., Алексеев С. Г. Термодинамическое исследование состава газовой фазы над расплавами системы Pb–Bi // Перспективные материалы. — 2011. — № 13. — С. 859–864.
9. Терентьев Д. И., Барбин Н. М., Борисенко А. В., Алексеев С. Г. Состав и теплофизические свойства системы (Pb–Bi) — пар при различных условиях // Прикладная физика. — 2012. — № 3. — С. 23–38.
10. Barbin N. M., Terentiev D. I., Alexeev S. G. Computer calculation for thermal behavior of Na_2CO_3 – Li_2CO_3 melt // Journal of Engineering Thermo Physics. — 2011. — Vol. 20, No. 3. — P. 308–314.
11. Терентьев Д. И., Барбин Н. М., Борисенко А. В., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделирование испарения расплавов Pb + Bi при различных давлениях // Химическая физика и мезоскопия. — 2011. — Т. 13, № 3. — С. 350–355.
12. Барбин Н. М. Термодинамическое моделирование термического поведения расплавов Li_2CO_3 + Na_2CO_3 и CaCO_3 + Na_2CO_3 // Химическая физика и мезоскопия. — 2008. — Т. 10, № 3. — С. 354–360.
13. Шавалеев М. Р., Барбин Н. М., Дальков М. П., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделирование поведения америция, цезия и стронция при нагревании радиоактивного графита в среде азота // Техносферная безопасность : интернет журнал. — 2014. — № 2 (3). URL : <http://www.uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal/> (дата обращения: 01.07.2014 г.).
14. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 8–15.
15. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканы (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30.
16. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IV. Простые эфиры // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 9–16.
17. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. V. Карбоновые кислоты // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 35–46.

18. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VI. Альдегиды // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 29–37.
19. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Смирнов В. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VII. Нитроалканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 22–24.
20. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 31–57.
21. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С., Пищальников А. В. О взрывопожароопасности водочной продукции // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 2. — С. 20–23.
22. Алексеев С. Г., Пищальников А. В., Левковец И. А., Барбин Н. М. О пожароопасности водных растворов этанола // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 31–33.
23. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливно-воздушных смесей на примере керосина марки РТ. II. РД 03-409-01 // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 1. — С. 21–27.
24. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температуры вспышки. Часть 1. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 35–41.

Материал поступил в редакцию 27 июля 2014 г.

English

THERMODYNAMIC MODELING OF RADIONUCLIDE BEHAVIOR DURING HEATING (BURNING) OF RADIOACTIVE GRAPHITE IN THE NITROGEN ATMOSPHERE

BARBIN N. M., Doctor of Technical Sciences, Candidate of Chemistry Sciences, Head of Chemistry Department of Ural State Agrarian University (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)

SHVALEEV M. R., Lecturer of Fire Tactics and Service Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, 620062, Yekaterinburg, Russian Federation)

TERENTYEV D. I., Candidate of Chemistry Sciences, Assistant Professor of Physics and Heat Transfer Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

ALEXEEV S. G., Candidate of Chemistry Sciences, Senior Researcher of Science and Engineering Center "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)

ABSTRACT

Thermodynamic modeling of *radioactive graphite – nitrogen* has been carried out using a software package TERRA.

It has been established that the radioactive plutonium is present in the form of condensed compounds PuC_2 , PuC , Pu_2C_3 and vapors of Pu; radioactive uranium — in the form of condensed UC , UC_2 , U_2C_3 and vapors of U; radioactive chlor — in the form of vaporous compounds of Cl, CCl , ClCN , Cl_2 ; radioactive beryllium — as condensed Be_3N_2 , and vaporous BeCl_2 , BeCl , Be, BeC_2 ; radioactive calcium — in the form of condensed Ca_3N_2 , CaCl_2 , CaC_2 and vaporous Ca, CaCl , CaCl_2 ; radioactive nickel — in the form of condensed Ni and vaporous Ni, Ni_3C ; radioactive strontium — in the form of condensed SrCl_2 , SrC_2 and vaporous Sr, SrCl , SrCl_2 ; radioactive americium — condensed and vaporous Am; radioactive cesium — in the form of condensed CsCl and vaporous compounds of Cs and CsCl . The product of burning of carbon at temperatures above 2400 K is vapors of CN, C_2N_2 and gas cluster C_3 .

Keywords: radioactive graphite; thermodynamic modeling; radionuclides; oxidation; heating.

REFERENCES

1. Skachek M. A. *Obrashcheniye s otrabotannym yadernym toplivom i radioaktivnymi otkhodami AES* [Handling of spent nuclear fuel and radioactive waste of nuclear power station]. Moscow, Publishing House MPEI, 2007. 448 p.
2. Matveev L. V., Rudick A. P. *Pochti vsye o yadernom reaktore* [Almost all of the nuclear reactor]. Moscow, Energoatomizdat, 1990, pp. 110–112.
3. Yang H.-C., Eun H.-C., Lee D.-G. Behavior of radioactive elements during thermal treatment of nuclear graphite waste. Thermodynamic model analysis. *J. of Nuclear Science and Technology*, 2005, vol. 42, no. 10, pp. 869–876.
4. Mikeev A. K. *Protivopozharnaya zashchita AES* [Fire protection NPP]. Moscow, Energoatomizdat, 1990. 285 p.
5. Barbin N. M., Terentyev D. I., Peshkov A. V., Alexeev S. G. Termodinamicheskoye modelirovaniye povedeniya radionuklidov pri nagreve (szhigani) radioaktivnogo grafita v atmosfere vozdukh [Thermodynamic modeling of radionuclide behavior during heating (burning) of radioactive graphite in the air atmosphere]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 3, pp. 58–63.
6. Barbin N. M., Kazantsev G. F., Vatolin N. L. Pererabotka vtorichnogo svintsovogo syrya v ionnykh solevykh rasplavakh [Recycling of secondary lead materials in ionic salt melts]. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2002. 180 p.
7. Barbin N. M., Terentyev D. I., Alexeev S. G., Barbina T. Thermodynamic modeling of the Pb + Bi melt evaporation under various pressure and temperatures. *Computational Materials Sciences*, 2013, vol. 66, pp. 28–33.
8. Terentyev D. I., Barbin N. M., Borisenko A. V., Alexeev S. G. Termodinamicheskoye issledovaniye sostava gazovoy fazy nad rasplavami sistemy Pb – Bi [Thermodynamic investigation of the gas phase over the Pb – Bi melt system]. *Perspektivnyye materialy — Perspective Materials*, 2011, no. 13, pp. 859–864.
9. Terentyev D. I., Barbin N. M., Borisenko A. V., Alexeev S. G. Sostav i teplofizicheskiye svoystva sistemy (Pb – Bi) — par pri razlichnykh usloviyakh [Structure and thermal properties of the system (Pb – Bi) — steams under various conditions]. *Prikladnaya fizika — Applied Physics*, 2012, no. 3, pp. 23–38.
10. Barbin N. M., Terentyev D. I., Alexeev S. G. Computer calculation for thermal behavior of Na_2CO_3 – Li_2CO_3 melt. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2011, vol. 20, no. 3, pp. 308–314.
11. Terentyev D. I., Barbin N. M., Borisenko A. V., Alexeev S. G. Termodinamicheskoye modelirovaniye ispareniya rasplavov Pb + Bi pri razlichnykh davleniyakh [Thermodynamic modeling of the melt evaporation Pb + Bi at different pressures]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya — Chemical Physics and Mesoscopy*, 2011, vol. 13, no. 3, pp. 350–355.
12. Barbin N. M. Termodinamicheskoye modelirovaniye termicheskogo povedeniya rasplavov Li_2CO_3 + Na_2CO_3 i Ca_2CO_3 + Na_2CO_3 [Thermodynamic modeling of the thermal behavior of molten Li_2CO_3 + Na_2CO_3 and Ca_2CO_3 + Na_2CO_3]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya — Chemical Physics and Mesoscopy*, 2008, vol. 10, no. 3, pp. 354–360.
13. Shavaleev M. R., Barbin N. M., Terentyev D. I., Alexeev K. S. Termodinamicheskoye modelirovaniye povedeniya Am, Cs, Sr pri nagrevanii radioaktivnogo grafita v srede azota [Thermodynamic modeling of the behavior of americium, cesium and strontium radioactive graphite by heating in a nitrogen atmosphere]. *Tekhnosfernaya bezopasnost — Technosphere Safety*, 2014, no. 2 (3). Available at: <http://www.uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> (Accessed 1 July 2014).
14. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniym. II. Ketony (chast 1) [The connection between the fire danger indices and the chemical structure. II. Ketony (Part 1)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15.
15. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniym. I. Alkany (chast 1) [The connection between the fire danger indices and the chemical structure. I. Alkan (Part 1)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 23–30.
16. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniym. IV. Prostyye efiry [The connection between the fire danger indices and the chemical structure. IV. Simple esters]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 9–16.

17. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. V. Karbovoyye kisloty [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. V. Carboxylic acid]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 35–46.
18. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. VI. Aldegidy [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VI. Aldehydes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 29–37.
19. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. VII. Nitroalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VII. Nitroalkanes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 22–24.
20. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VIII. Esters (part 1)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 22, no. 1, pp. 31–57.
21. Alexeev S. G., Barbin N. M., Avdeev A. S., Pishchalnikov A. V. O vzryvopozharoopasnosti vodochnoy produktsii [On the explosive and fire danger of alcohol production]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 2, pp. 20–23.
22. Alexeev S. G., Pishchalnikov A. V., Levkovets I. A., Barbin N. M. O pozharoopasnosti vodnykh rastvorov etanola [On the danger of fire aqueous solutions of ethanol]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 31–33.
23. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev E. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivno-vozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. II. RD 03-409-01 [Methods of assessing of the explosive and fire danger of the fuel-air mixtures on the example of kerosene RT. II. RD 03-409-01]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 1, pp. 21–27.
24. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Temperatury vspyshki. Chast 1. Istoriya voprosa, definitsii, metody eksperimentalnogo opredeleniya [Flashpoint. Part 1. Background, definitions, methods of the experimental determination]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 35–41.



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

Ю.И.ГОРБАНЬ

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

М.: Пожнаука, 2013 г. - 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.
- ♦ В 2014 г. книга удостоена премии Национальной академии наук пожарной безопасности в номинации "Монография".



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:

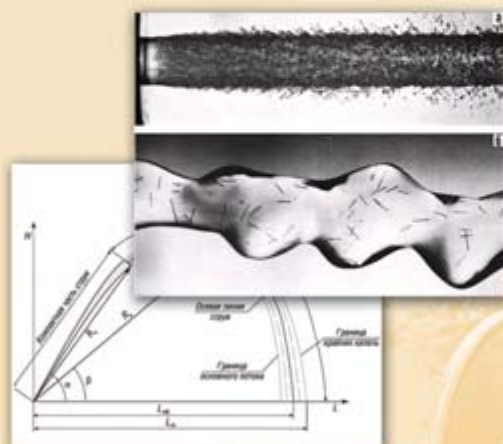
ЗАО „Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”
185031, г.Петрозаводск, ул.Заводская, д.4
Тел./факс: (8142) 57-11-27, 77-49-23
e-mail: office@firerobots.ru, <http://www.firerobots.ru>

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, <http://www.firepress.ru>



РЕКЛАМА



А. П. ПАРФЁНЕНКО, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: parf01@inbox.ru)

УДК 614.842.65—056.24

МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ И ПРАКТИКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ИХ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ЭВАКУАЦИИ

Рассмотрено развитие методологии моделирования процессов эвакуации людей и распространения опасных факторов пожара, используемая при нормировании размеров эвакуационных путей и выходов в зданиях и сооружениях. Проведен обзор моделей, применяемых в существующих программно-вычислительных комплексах эвакуации людей, разработанных как в России, так и за рубежом. Даны оценки по использованию моделей эвакуации, исходя из их соответствия данным натурных наблюдений в реальных ситуациях.

Ключевые слова: моделирование; эвакуация; людской поток; пожар.

Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (Федеральный закон № 123-ФЗ) [1], принятый “в целях защиты жизни, здоровья... от пожаров” (ч. 1 ст. 1 [1]), в качестве первоочередных способов защиты людей определяет:

“1) применение объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара за пределы очага;

2) устройство эвакуационных путей, удовлетворяющих требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре;

3) устройство систем обнаружения пожара (установок и систем пожарной сигнализации), оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре” (ст. 52 [1]).

В соответствии с ч. 1 ст. 1 [1] “система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты в обязательном порядке должна содержать комплекс мероприятий, исключающих возможность превышения значений допустимого пожарного риска”.

Кроме того, в ч. 1 ст. 79 [1] установлено, что “индивидуальный пожарный риск в зданиях, сооружениях и строениях не должен превышать значение одной миллионной в год при размещении отдельно человека в наиболее удаленной от выхода из здания, сооружения и строения точке”.

Ст. 53 [1] содержит требования по безопасности эвакуации людей:

“1. Каждое здание, сооружение или строение должно иметь объемно-планировочное решение и конструктивное исполнение эвакуационных путей, обеспечивающие безопасную эвакуацию людей при пожаре. При невозможности безопасной эвакуации людей должна быть обеспечена их защита посредством применения систем коллективной защиты.

2. Для обеспечения безопасной эвакуации людей должны быть:

1) установлены необходимое количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и эвакуационных выходов;

2) обеспечено беспрепятственное движение людей по эвакуационным путям и через эвакуационные выходы.

3. Безопасная эвакуация людей из зданий, сооружений и строений при пожаре считается обеспеченной, если интервал времени от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени эвакуации людей при пожаре”. Это требование в развернутом виде представлено в Методике [2]:

$$P_э = \begin{cases} \frac{0,8t_{бл} - t_p}{t_{нэ}}, & \text{если } t_p < 0,8t_{бл} < t_p + t_{нэ} \\ & \text{и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин;} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{нэ} \leq 0,8t_{бл} \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин;} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8t_{бл} \text{ или } t_{ск} > 6 \text{ мин,} \end{cases}$$

где $P_э$ — вероятность эвакуации людей;

t_p — расчетное время эвакуации людей;

$t_{нэ}$ — время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей);

$t_{бл}$ — время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации);

$t_{ск}$ — время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение 0,5).

Эвакуационные пути являются частью (как правило, более чем на 98 %) коммуникационных (от лат. *communico* — делаю общим, связываю) путей здания. Площадь коммуникационных путей входит в состав площади пространства, определяемого физическими факторами создаваемой в здании среды, необходимой для жизнедеятельности людей (рис. 1). Их площадь *достигает 30 % общей площади общественных зданий* [3].

Однако, из каких бы соображений ни определялись размеры элементов (помещения, этажи, лестничные клетки) объемно-планировочной структуры зданий, они *лимитируются допустимой длиной и шириной коммуникационных путей при использовании их в качестве эвакуационных путей при пожаре, а те в свою очередь определяются необходимым временем эвакуации $t_{нб}$, скоростью V_j и интенсивностью движения q_j эвакуирующихся людских потоков.*

Длина L и ширина B помещений определяются предельно допустимой длиной проходов $l_{п}$ от выходов до наиболее удаленных от них точек помещений: $L + B \leq l_{п} = V_j t_{нб}$.

Длина коридоров L_k определяется предельно допустимым расстоянием l_k от входа в лестничную клетку до наиболее удаленного выхода из помещения: $L_k \leq l_k = V_j t_{нб}$.

Длина пути по лестнице вдоль лестничного марша достигает, как показывают последние исследования [4], $l_{л} = 4h_{эт}$.

Минимальная ширина всех эвакуационных путей $b_{j\min}$ зависит от числадвигающихся по ним людей N_j и максимально возможной интенсивности движения по тому или иному виду пути $q_{\max j}$: $b_{j\min} = N_j / (q_{\max j} t_{нб})$.

Моделирование эвакуации людей и динамики опасных факторов пожара всегда, в том или ином виде, используется в нормировании эвакуационных путей в зданиях и сооружениях различного назначения. *Нормы — всегда отображение тех представлений (моделей), которые имеют их разработчики на текущий период времени о явлениях реального мира, и возможностей их представления в нормировании.*

Очевидно, что математическое описание должно содержать наиболее точное и однозначное представление свойств реального явления, учитываемых его моделью, но его реализация зависит от используемого для этого математического аппарата, от имеющихся средств вычислительной техники и программного обеспечения. Однако понятно, что степень точности воспроизведения реального явления

любой математической моделью зависит прежде всего от адекватности этому явлению теории, лежащей в ее основе.

Развитие математического моделирования распространения ОФП, отражающего “всю совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов, присущих пожару”, описано д-ром техн. наук, проф. Академии ГПС Ю. А. Кошмаровым [5]. В своей работе он отмечает, что реализация этих моделей возможна лишь путем численного решения, которое “можно выполнить только с помощью современных компьютеров. Именно поэтому разработка и реализация математических моделей пожара началась сравнительно недавно” [5]. Для широкой практической реализации этих моделей разработаны программно-вычислительные комплексы [6, 7]. Дальнейшее развитие математическое моделирование динамики ОФП получило в работах заслуженных деятелей науки России профессоров Академии ГПС С. В. Пузача и В. М. Есина [8–10].

Аналогичная зависимость широкого практического использования методов математического моделирования процессов эвакуации от развития материальной базы ЭВМ и ее программно-вычислительного обеспечения, а также от степени освоения разработчиками положений теории людских потоков наблюдается и в нормировании размеров эвакуационных путей и выходов. Первая модель описывала людской поток как ряды “элементарных потоков” людей, идущих в затылок друг другу с одинаковой скоростью, наподобие строя солдат [11]. Такое представление (модель) о структуре людского потока внедряется в нормирование размеров эвакуационных путей и выходов: “Суммарная ширина маршей лестничных клеток в зависимости от числа людей, находящихся на наиболее населенном этаже, кроме первого, а также ширина дверей, коридоров или проходов на путях эвакуации на всех этажах должны приниматься из расчета 0,6 м на 100 человек...” [12]. Почему берется норма “100 человек”, установить невозможно. В то же время в п. 4.2 [13] указано: “Ширина путей эвакуации и их протяженность, количество и ширина эвакуационных выходов (дверей) и лестниц определяются расчетом исходя из:

а) установленной продолжительности эвакуации, скорости движения людей...;

б) пропускной способности 1 м ширины прохода, дверей или лестниц 50 чел./мин при их ширине менее 1,5 м...”

При этом время эвакуации людей из помещений здания театра регламентировалось п. 4.1 СНиП II-Л.20–69 [13].

Сопоставление положений этих, существовавших практически одновременно норм [12, 13] показывает различную степень интерпретации данных

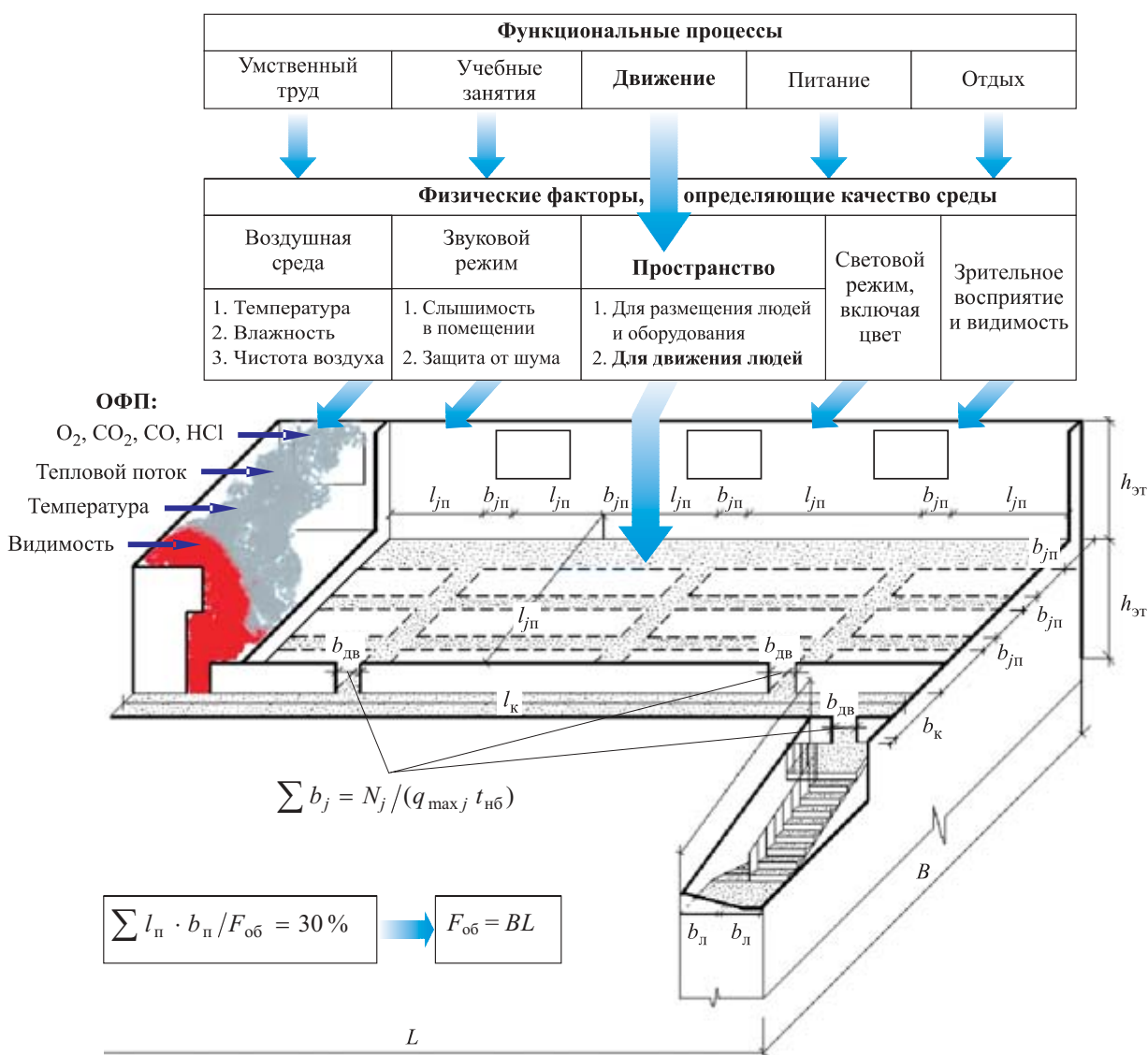


Рис. 1. Схема взаимного влияния на элементы объемно-планировочной структуры зданий физических параметров функциональных процессов и опасных факторов пожара

имеющихся теоретических исследований. СНиП II-A.5–70 [12] использует модель, описывающую лишь структуры людского потока в виде элементарных потоков шириной 0,6 м, *выхолащивая тем самым из модели ее суть* — зависимость пропускной способности от времени использования любого элемента эвакуационного пути. Автор же этой (первой) модели людского потока постоянно подчеркивает: “Только те нормы можно считать практически обоснованными, которые непосредственно учитывают время эвакуации; разработка же таких норм возможна лишь на основе изучения эвакуационного движения” [11].

Степень изучения этого процесса в то время была на таком уровне, что С. В. Беляев в 1938 г. [11] писал: “При неорганизованном движении, имеющем место при эвакуации, ...уплотнение потока сопровождается уменьшением длины шага и числа шагов

в минуту. То и другое способствует снижению скорости. Однако при этом скорость становится неопределенной, что затрудняет не только установление связи между плотностью и пропускной способностью, но и разрешение вопроса о том, увеличивает или уменьшает пропускную способность уплотнение потоков. Между тем, *выявление этой связи необходимо для разрешения основных задач эвакуации. Только на основе этой связи возможно по уплотнению определять пропускную способность эвакуационного пути в минуту и необходимую ширину его для осуществления эвакуации в заданный срок.* Потребовалось 50 лет “практических обследований” и теоретических исследований для установления “этой связи” [14]. На протяжении этого времени была разработана модель людских потоков на основе выявления кинематических закономерностей их движения, описываемых детерминированными за-

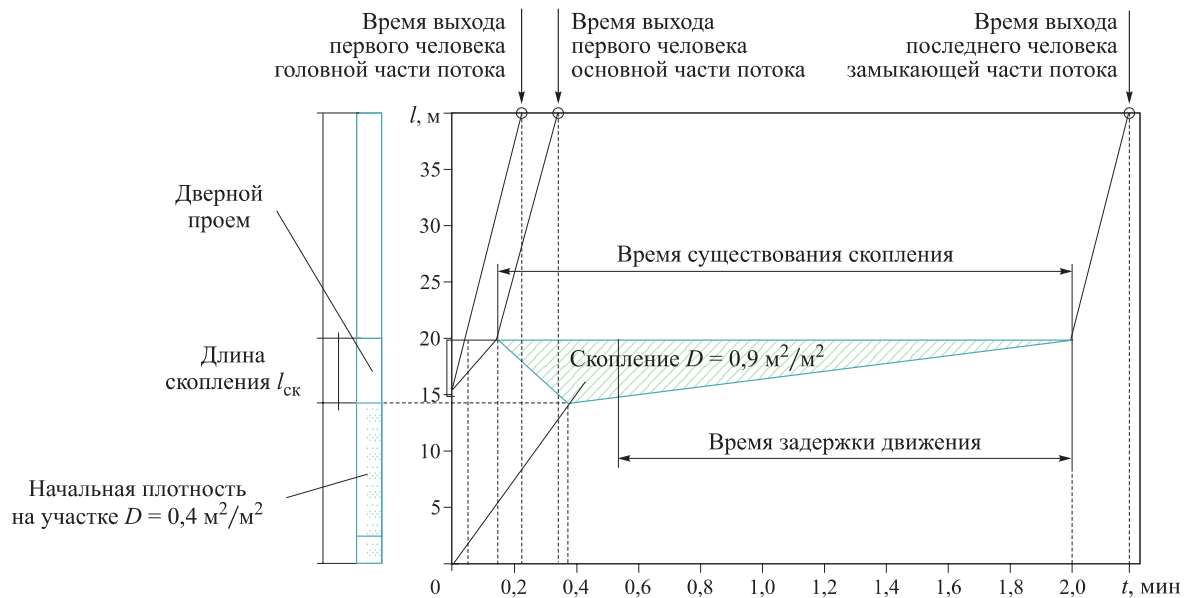


Рис. 2. Расчетный график образования и рассасывания скопления людей [3]

висимостями [3]. Эта модель реализовывалась графоаналитическим методом расчета (рис. 2). Затем людской поток был описан более адекватно его природе как случайный процесс, и для его математического воспроизведения была создана имитационно-стохастическая модель [15].

На момент, когда появилась возможность реализовать эту модель в нормировании [16], знания практикующих архитекторов ограничивались положениями СНиП II-A.5–70 [12]. В этих условиях первоочередной задачей нормирования было внедрение в практику проектирования хотя бы основных положений теории людских потоков в противовес архаичным “0,6 м на 100 человек”. В связи с этим в СНиП II-2–80 [16] были изложены только основные положения, содержащие понятия о плотности людского потока, о зависимости скорости его движения от плотности и вида пути, о связи между плотностью, скоростью и интенсивностью движения потока, о слиянии людских потоков и возможности образования скоплений, и эти связи описаны всего восемью простейшими математическими соотношениями. Зависимости от плотности, скорости и интенсивности движения при повышенной активности по различным видам пути приведены в табличной форме.

Совокупность приведенных данных образует упрощенную математическую модель. Ввиду отсутствия в составе “основных положений” описаний переформирования потока, его разуплотнения и растекания разработчики разд. 1 вынуждены были ввести требование: “Если значение $q_j \geq q_{\text{max}}$, то ширину δ_j данного участка пути следует увеличивать на столько, чтобы соблюдалось условие:

$$q_j \leq q_{\text{max}}. \quad (1)$$

При невозможности выполнения условия (1) интенсивность и скорость движения по участку пути j определяется по таблице при значении $D = 0,9$ и более” [16]. Такое требование означает, что для потока принимаются минимальные значения скорости и интенсивности движения по рассматриваемому и следующему за ним участкам пути из-за возможности образования скопления на границе смежных участков пути, которое, таким образом, распространяется на всю длину участков. Это искажает действительную картину движения людского потока в сторону увеличения времени эвакуации, но тем самым стимулирует назначение такой ширины участков путей эвакуации, которая обеспечивает ее беспрепятственность.

Имитационно-стохастическая модель воспроизводит движение людского потока путем описания его состояния на последовательно расположенных (смежных) участках малой протяженности (элементарных) в последовательные моменты времени, задавая наблюдаемые в натуре правила перехода через их границы в зависимости от соотношения плотностей потока на них. Модель описывает скорость и, следовательно, интенсивность движения как случайную функцию, значения которой выбираются случайным образом на каждом шаге моделирования, и тем самым учитываются в составе потока наличие и поведение людей с различными мобильными возможностями и их влияние на скорость движения окружающих их людей. Имитационно-стохастическая модель названа имитационной потому, что она не описывает, а воспроизводит (имитирует) людской поток, давая его участникам проявить особенности их поведения при движении. Она разработана на основании натурных наблюдений

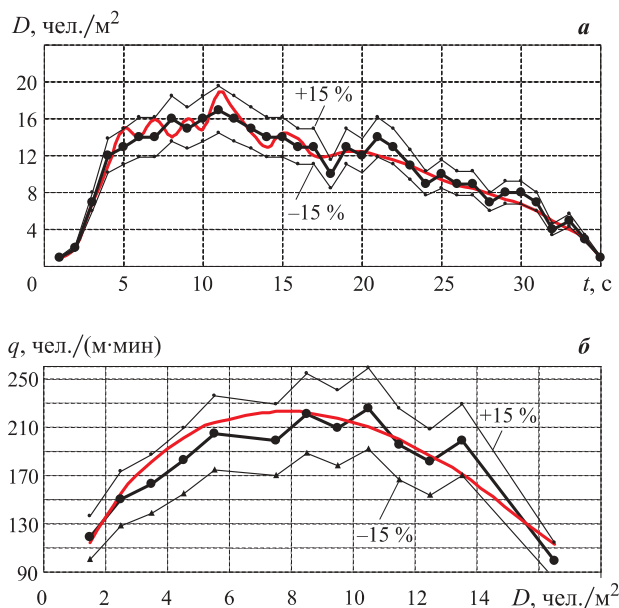


Рис. 3. Сопоставительный анализ результатов экспериментов и натурных наблюдений (●) с результатами численного моделирования: а — изменение плотности потока перед дверным проемом во времени; б — изменение интенсивности движения в зависимости от плотности людских потоков детей

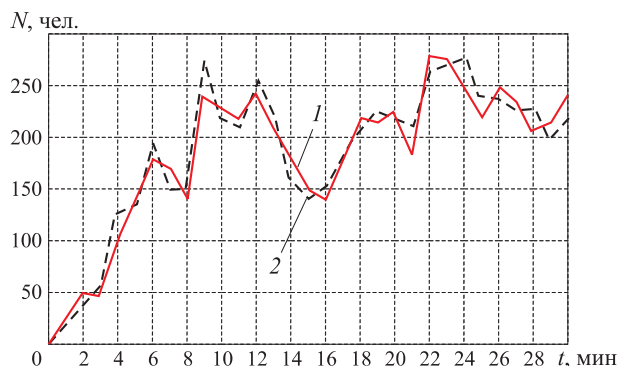


Рис. 4. Изменение числа людей N , проходящих через поперечное сечение пути в последовательные моменты времени в вестибюле общественного здания: 1 — эксперимент; 2 — моделирование

за людскими потоками (в настоящее время получено около 40 тысяч данных более чем в 90 сериях), проведенных в том числе как для людских потоков смешанного состава [17], так и для детей дошкольного возраста [18]. Как показывают исследования, результаты имитационно-стохастического моделирования наиболее адекватны процессам движения людских потоков, наблюдаемым в реальных условиях (рис. 3 и 4).

В нормировании имитационно-стохастическая модель впервые использована в МГСН 4.19–2005 [19], а также в Методике [2].

С развитием компьютерной техники коренным образом расширились возможности выполнения многочисленных расчетных операций, необходимых для

реализации моделей людских потоков различной сложности. В России последовательно, вслед за совершенствованием ЭВМ разных поколений, развивались методы их использования в моделировании людских потоков. Стохастическая модель людского потока впервые была реализована вводом исходных данных с перфокарт на ЭВМ класса ЕС в программе ADLP [20]. Позже для реализации этой модели был разработан сертифицированный программный продукт ADLPV-2.0 (Анализ движения людских потоков, вероятность) [21]. Далее появился программный продукт Флоутек ВД [22], реализующий два алгоритма расчета — упрощенный аналитический и имитационно-стохастический.

Благодаря интенсивному развитию электронно-вычислительной техники и методологии программного обеспечения, за рубежом стало активно развиваться имитационное (*imitation* — подражать) моделирование [23]. В области моделирования людских потоков наибольший интерес представляет методология имитационного моделирования сложных систем. Мощность современных компьютеров в сочетании с искусством программирования дает возможность имитировать движение каждого человека как элемента сложной системы “людской поток”. Анализируя с этой точки зрения международный опыт современного уровня моделирования движения людей, можно видеть, что достигнут огромный прогресс в компьютерном воспроизведении индивидуального движения человека в достаточно многочисленных людских потоках в различных ситуациях. Это создает возможность рассмотреть все стадии формирования людского потока: от индивидуального движения отдельных людей до их объединения в поток возрастающей плотности (индивидуально-поточное, затем — поточное движение), т. е. имитировать индивидуально-поточное движение. В этом отношении наиболее удачными из известных зарубежных компьютерных моделей являются Simulex [24], Pathfinder [25], Steps [26], Building Exodus [27] (рис. 5).

Компьютерный продукт Simulex способен анализировать выход большого числа людей из большого, геометрически сложного здания. Simulex использует мелкую расчетную сетку, которая создается автоматически, для деления плана помещения на блоки размером $0,2 \times 0,2$ м. Система позволяет генерировать время задержки эвакуации случайным образом, а также учитывать пол, возраст человека и его физические параметры.

Программа Building Exodus имитирует самый полный набор социально-психологических признаков и характеристик людей, таких как возраст, пол, скорость и т. д., учитывает степень ориентации человека в здании. Программа позволяет моделиро-

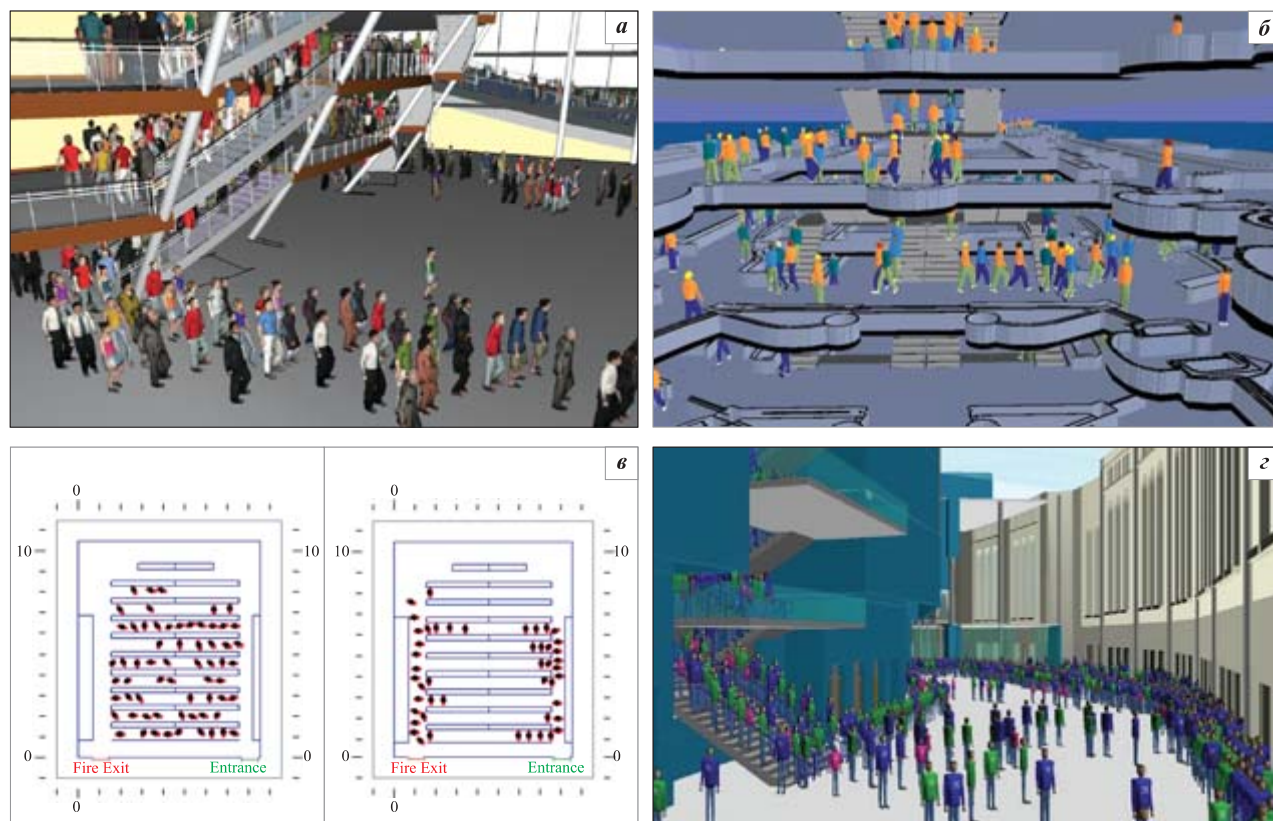


Рис. 5. Интерфейс зарубежных программно-вычислительных комплексов эвакуации людей: а — Pathfinder; б — Building Exodus; в — Simulex; г — Steps

вать задержку и прекращение движения людей при наступлении критических значений ОФП.

“В модели Pathfinder реализован более точный алгоритм движения, учитывающий маневрирование людей в потоке (например, ускорение при наличии свободного пространства либо уклонение от столкновений с другими пешеходами).

Программный комплекс Steps имеет два режима моделирования: нормальный и эвакуация. Режим эвакуации принципиально не отличается от описанных выше программ, за исключением возможности учитывать лифты для эвакуации. В нормальном режиме можно моделировать, например, целые транспортные узлы: пешеходные потоки с учетом прибытия общественного транспорта, покупку пассажирами билетов, проход через турникеты, движение по распределительному залу станции метрополитена и убытие с учетом движения поездов” [28, 29].

Несмотря на подкупающее обилие возможностей этих программ, остается открытым вопрос о достоверности имитации в них процессов эвакуации людей, тем более после ознакомления с содержанием ISO/TR 16738 “Пожарная безопасность — Техническая информация о методах прогнозирования поведения и движения людей”. Этот отчет демонстрирует низкий научный уровень исследований данных процессов за рубежом. Приведенные в отчете результаты носят в основном эмпирический

характер и даже статистически не обобщены должным образом. В итоге отсутствует количественное описание влияния перечисленных многочисленных факторов, которые могут определять значения времени начала эвакуации $t_{нэ}$, а также закономерности изменения параметров людских потоков.

Таким образом, можно констатировать отсутствие на международном уровне научного описания реального объекта моделирования: человека, людского потока, закономерностей их поведения. Поэтому очевидно, что каждый из авторов компьютерных программ, возложив на себя бремя “разложения сложного процесса функционирования системы в целом в последовательность простых явлений и событий”, интерпретирует (истолковывает) их субъективно, не имея для этого необходимых знаний или объективных данных, “доступных непосредственному математическому описанию”. В этом отношении нужно отдать дань уважения откровению авторов программы Simulex, название которой происходит от латинского *Simulatio* (притворство), что далеко не эквивалентно *Imitatio* (в переводе с латинского — подражание).

Математические модели движения людских потоков, реализованные в программных продуктах, позволяют проследить динамику изменения параметров потока во времени в процессе эвакуации, выявить наиболее загруженные участки пути дви-

жения. Анализ развития моделирования процессов эвакуации людей и распространения ОФП показывает, что в настоящее время при нормировании размеров эвакуационных путей и выходов, а также их структуры в зданиях и сооружениях имеется воз-

можность использовать модели, достаточно адекватно воспроизводящие реальную динамику этих процессов, и отсеять те, в которых искусство программирования подменяет психофизические закономерности реального явления [14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2012. — № 29, ст. 3997.
2. Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (с изм. от 12.12.2011 г., приказ МЧС РФ № 749) : утв. приказом МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 ; введ. 30.06.2009 г. // Российская газета. — 2009. — № 161.
3. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. — М. : Изд. лит. по строительству, 1969; Berlin, 1971; Koln, 1971; Praha, 1972; U. S., New Delhi, 1978. — Изд. 2. — М. : Стройиздат, 1979.
4. Кудрин И. С. Влияние параметров движения людских потоков на объемно-планировочные решения высотных зданий : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2013.
5. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000.
6. Программный продукт “ВИМ”. Госстандарт России, № РОСС RU.СП15.Н00346.
7. Программный продукт “Evacuation (Necessary time) Basic”. Госстандарт России, № РОСС RU.СП15.Н00337.
8. Пузач С. В. Математическое моделирование тепломассообмена при решении задач пожаровзрывобезопасности : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2003.
9. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2005.
10. Есин В. М. Исследование распространения продуктов горения по многоэтажным зданиям и сооружениям и противопожарная защита : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1991.
11. Беляев С. В. Эвакуация зданий массового назначения. — М. : Изд-во Всесоюзной академии архитектуры, 1938. — 71 с.
12. СНиП II-A.5–70. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений : утв. постановлением Госстроя СССР от 16.09.70 г. № 126; введ. 01.01.71 г. — М. : Стройиздат, 1971.
13. СНиП II-L.20–69. Театры. Нормы проектирования : утв. постановлением Госстроя СССР от 21.03.69 г. № 31. — М. : Стройиздат, 1969.
14. Холицевников В. В. Закономерность связи между параметрами людских потоков : диплом № 24–S на открытие в области социальной психологии. — М. : Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005.
15. Холицевников В. В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МИСИ, 1983.
16. СНиП II-2–80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений : утв. постановлением Госстроя СССР от 18.12.80 г. № 196; введ. 01.01.82 г. — М. : Стройиздат, 1981.
17. Исаевич И. И. Разработка основ многовариантного анализа объемно-планировочных решений станций и пересадочных узлов метрополитена на основе моделирования закономерностей движения людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1990.
18. Парфёненко А. П. Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2012.
19. МГСН 4.19–2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве : утв. постановлением Правительства Москвы от 28.12.2005 г. № 1058-ПП; введ. 28.12.2005 г. // Вестник Мэра и Правительства Москвы. — 2006. — № 7.

20. Холщевников В. В., Никонов С. А., Шамгунов Р. Н. Моделирование и анализ людских потоков в зданиях различного назначения : учебное пособие. — М. : МИСИ, 1986.
21. Программный продукт: Анализ движения людских потоков, вероятность. Версия V 2.0 (ADLPV-2.0). — Госстандарт России, № РОСС RU.СП05.Н00220.
22. Программный продукт: Флоутек ВД. Госстандарт России, № РОСС RU.СП15.Н00345.
23. Kubawara H., Doi H., Ishimi A. A fire-escape simulation method by describing actions of evacuees as probabilistic phenomena // CIB Symposium "Systems Approach to Fire Safety in Building", Tzukuba (Japan). — 1979. — Vol. 1. — P. 105–122.; Muta K., Sato H., Ouchi T., Hara V. Study on total safety system // CIB Symposium "Systems Approach to Fire Safety in Building", Tzukuba (Japan). — 1979. — Vol. 1. — P. 79–92.
24. Thompson P., Marchant E. A computer model for the evacuation of large building populations // Fire Safety Journal. — 1995. — Vol. 24, Issue 2. — P. 131–148.
25. Pathfinder: Technical reference. Thunderhead Engineering, 2009. URL : <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder> (дата обращения: 20.08.2014 г.).
26. Интернет-ресурс Mott MacDonald — global engineering management and development consultants. Evacuation modeling. URL : <http://www.mottmac.com> (дата обращения: 20.08.2014 г.).
27. Owen M., Galea E. R., Lawrence P. J. The Exodus evacuation model applied to building evacuation scenarios // Journal of Fire Protection Engineering. — 1996. — 8(2). — P. 65–84. doi: 10.1177/104239159600800202.
28. Холщевников В. В., Самошин Д. А., Галушка Н. Н. Обзор компьютерных программ моделирования эвакуации зданий и сооружений // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 5. — С. 40–49.
29. Самошин Д. А. Современные программные комплексы для моделирования процесса эвакуации // Пожарная безопасность в строительстве. — 2011. — № 1. — С. 62–65.

Материал поступил в редакцию 28 августа 2014 г.

English

METHODOLOGY FOR MODELING HUMAN MOVEMENTS AND PRACTICE OF PROGRAMMING THEIR MOVEMENT DURING EVACUATION

PARFYENENKO A. P., Candidate of Technical Sciences, Associated Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: parf01@inbox.ru)

ABSTRACT

Due to the extensive use of the theory of human flows at standardizing the evacuation of people in emergency situations there are being developed both in our country and abroad, software and computer systems, which make it possible to analyze the different situations the calculated when solving engineering problems of fire safety in buildings of various purposes. Use only reliable software systems based on the results of field observations and established psychophysical regularities adequately assess the evacuation process model, thereby advance to identify the most loaded path sections movement of people in an emergency and provide the best solutions for standardizing the size of escape routes and exits.

Comparative analysis of the models leads to the conclusion that using formulas that implement a simplified analytical model, possible to calculate only the most simple cases pedestrian traffic. With that for the simulation of evacuation process it should be used simulation and stochastic model of pedestrian traffic, which most accurately reflects the dynamics of the process under different operating conditions of the building.

Keywords: modeling; evacuation; flow of people; fire.

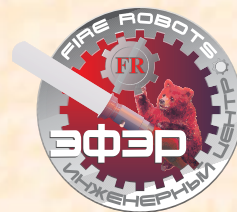
REFERENCES

1. Technical regulations on fire safety requirements. Federal Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2012, no. 29, art. 3997 (in Russian).
2. 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. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2009, no. 161 (in Russian).
3. 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.
4. Kudrin I. S. *Vliyaniye parametrov dvizheniya lyudskikh potokov na obyemno-planirovochnyye resheniya vysotnykh zdaniy*. Dis. cand. tekhn. nauk [Rationing of fire safety requirements for evacuation routes and exits in buildings of preschool educational institutions. Cand. techn. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2013.
5. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii. Uchebnoye posobiye* [Modeling and analysis of human movements in various buildings. Schoolbook]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2000.
6. *Software Product: VIM*. State Standard of Russia, no. ROSS RU.SP15.N00346.
7. *Software Product: Evacuation (Necessary time) Basic*. State Standard of Russia, no. ROSS RU.SP15.N00337.
8. Puzach S. V. *Matematicheskoye modelirovaniye teplomassoobmena pri reshenii zadach pozharovzryvobezopasnosti. Monografiya* [Mathematical modeling of heat and mass transfer in the solution of problems of fire and explosion safety. Scientific monograph]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2003.
9. Puzach S. V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti. Monografiya* [Methods of calculation of heat and mass transfer in case of fire in the premises and their use in solving practical problems of fire and explosion safety. Scientific monograph]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia, 2005.
10. Esin V. M. *Issledovaniye rasprostraneniya produktov goreniya po mnogoetazhnym zdaniyam i sooruzheniyam i protivodymnaya zashchita*: Dis. dokt. tekhn. nauk [The study of the spread of combustion products in multi-storey buildings and structures and smoke protection. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, VIPTSh MVD Rossii Publ., 1991.
11. Belyaev S. V. *Evakuatsiya zdaniy massovogo naznacheniya* [Public evacuation from buildings]. Moscow, All-Russian Academy of the Architecture, 1938. 71 p.
12. *Construction norms and rules of Russian Federation II-A.5–70. Fire regulations for designing of buildings and structures*. Moscow, Stroyizdat, 1971 (in Russian).
13. *Construction norms and rules of Russian Federation II-L.20–69. Theatres. Design standards*. Moscow, Stroyizdat, 1969 (in Russian).
14. Kholshchevnikov V. V. *Zakonomernost svyazi mezhdu parametrami lyudskikh potokov. Diplom № 24-S na otkrytiye v oblasti sotsialnoy psikhologii* [Relationship between parameters of human flow. Diploma No. 24-S on the discovery in the field of social psychology]. Moscow, Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discoveries and Inventions, International Association of Authors of Scientific Discoveries Publ., 2005.
15. Kholshchevnikov V. V. *Lyudskiye potoki v zdaniyakh, sooruzheniyakh i na territorii ikh kompleksov*. Dis. dokt. tekhn. nauk [Human flows in buildings, structures and their adjoining territory. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, MISI Publ., 1983. 442 p.
16. *Construction norms and rules of Russian Federation II-2–80. Fire regulations for designing of buildings and structures*. Moscow, Stroyizdat, 1981 (in Russian).
17. Isaevich I. I. *Razrabotka osnov mnogovariantnogo analiza obyemno-planirovochnykh resheniy stantsiy i peresadochnykh uzlov metropolitena na osnove modelirovaniya zakonomernostey dvizheniya lyudskikh potokov*. Dis. kand. tekhn. nauk [Development of the principles of multivariate analysis volumetric-planning decisions stations and subway hubs based on modeling patterns of human traffic. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, MISI Publ., 1990. 245 p.

18. Parfyenenko A. P. *Normirovaniye trebovaniy pozharnoy bezopasnosti k evakuatsionnym putyam i vykhodam v zdaniyakh detskikh doshkolnykh obrazovatelnykh uchrezhdeniy*. Dis. kand. tekhn. nauk [Rationing of fire safety requirements for evacuation routes and exits in buildings of preschool educational institutions. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2012. 145 p.
19. Moscow city construction norms 4.19–2005. Temporary regulations multifunctional design of high-rise buildings and complexes of buildings in Moscow. *Vestnik Mera i Pravitelstva Moskvyy — Statement of the Mayor and the Government of Moscow*, 2006, no. 7 (in Russian).
20. Kholshchevnikov V. V., Nikonov S. A., Shamgunov R. N. *Modelirovaniye i analiz lyudskikh potokov v zdaniyakh razlichnogo naznacheniya. Uchebnoye posobiye* [Modeling and analysis of human movements in various buildings. Schoolbook]. Moscow, MISI Publ., 1986.
21. *Software Product: Analysis of foot traffic, the probability version V 2.0 (ADLPV-2.0)*. State Standard of Russia, no. ROSS RU.SP05.N00220.
22. *Software Product: Flowtech VD*. State Standard of Russia, no. ROSS RU.SP15.N00345.
23. Kubawara H., Doi H., Ishimi A. A fire-escape simulation method by describing actions of evacuees as probabilistic phenomena. *CIB Symposium "Systems Approach to Fire Safety in Building", Tzukuba (Japan)*, 1979, vol. 1, pp. 105–122.; Muta K., Sato H., Ouchi T., Hara V. Study on total Safety System. *CIB Symposium "Systems Approach to Fire Safety in Building", Tzukuba (Japan)*, 1979, vol. 1, pp. 79–92.
24. Thompson P., Marchant E. A computer model for the evacuation of large building populations. *Fire Safety Journal*, 1995, vol. 24, issue 2, pp. 131–148.
25. Pathfinder: Technical reference. Thunderhead Engineering, 2009. Available at: <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder> (Accessed 20 August 2014).
26. Mott MacDonald — global engineering management and development consultants. Evacuation modeling. Available at: <http://www.mottmac.com> (Accessed 20 August 2014).
27. Owen M., Galea E. R., Lawrence P. J. The Exodus evacuation model applied to building evacuation scenarios. *Journal of Fire Protection Engineering*, 1996, 8(2), pp. 65–84. doi: 10.1177/104239159600800202.
28. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Galushka N. N. Obzor kompyuternykh programm modelirovaniya evakuatsii zdaniy i sooruzheniy [Review of computer simulation models for computation build environment evacuation]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2002, vol. 11, no. 5, pp. 40–49.
29. Samoshin D. A. Sovremennyye programmnyye komplekсы dlya modelirovaniya protsessa evakuatsii [Modern software products for simulation of the evacuation process]. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve — Fire Safety in Construction*, 2011, no. 1, pp. 62–65.

ЗАО "Инженерный центр пожарной робототехники" "ЭФЭР"

185031, г. Петрозаводск, ул. Заводская, д. 4
Тел./факс: (8142) 77-49-31, 57-34-23
e-mail: marketing@firerobots.ru; www.firerobots.ru



ПОЖАРНЫЕ РОБОТЫ И СТВОЛЬНАЯ ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

в пожарной автоматике и пожарной охране.

V. Пожарная робототехника*



Бурное развитие электроники и информационных технологий в XXI веке оказывает значительное влияние на развитие всего технического прогресса. Значительные изменения происходят и в пожарной автоматике, неотъемлемой частью которой являются пожарные роботы (ПР). В наш век компьютерных технологий приоритет должен быть за интеллектуальными системами, адекватно реагирующими на реальное развитие событий, обеспечивающими функции саморегулирования и обладающими гибкостью перепрограммирования. Следует отметить, что Россия является первой страной в мире, где законодательно и нормативно введен новый вид автоматических установок пожаротушения — роботизированные установки пожаротушения (РУП) [1–3].

Пожарная робототехника прошла значительный путь эволюционного развития. Промышленные роботы начали широко внедряться в производственные

автоматизированные процессы еще в XX веке. Участвовавшие техногенные катастрофы создали условия для ускорения разработки пожарных роботов с целью применения их в экстремальных ситуациях. На основании практического опыта использования пожарных роботов стали проводиться исследования новых технологий пожаротушения во Всероссийском научно-исследовательском институте противопожарной обороны (ВНИИПО, г. Балашиха), Институте физико-технических проблем (г. Москва) и Лаборатории пожарных роботов (г. Петрозаводск). В этих работах были определены основные показатели пожарных роботов, введены новые термины и определения, выполнены практические исследования по баллистике струй для выработки рекомендаций по применению пожарных роботов. По результатам этих исследований были разработаны первые РУП, которые были впоследствии внедрены на Ленинградской АЭС и Петрозаводской ТЭЦ для защиты машинных залов.

Пожарный робот во многом соответствует мечтам пожарных о борьбе с огнем: он круглосуточно находится на страже доверенной ему зоны защиты и при загорании может быстро и точно определить место

* Данная статья продолжает серию статей "Пожарные роботы и ствольная пожарная техника в пожарной автоматике и пожарной охране", опубликованных в № 4, 5, 8 и 10 за 2014 г.

загорания и направить на очаг огня мощный заряд воды или пены. В пожарной автоматике практическое применение нашли стационарные пожарные роботы на базе лафетных стволов, технические требования на которые определены в ГОСТ Р 53326–2009 [3].

Пожарные роботы отличаются от других установок пожаротушения возможностью с одной точки защищать большие площади — от 5 до 15 тыс. м² при расходах от 20 до 60 л/с соответственно. Водоснабжение осуществляется только по магистральной сети — без паутины распределительных сетей, характерных для спринклерных и дренчерных систем. Адресная доставка воды и пены производится по воздуху по всей защищаемой зоне непосредственно на очаг загорания, а не на расчетную площадь, определенную проектом раз и навсегда. Пожарные роботы могут быть оснащены ИК-сканерами для автоматического обнаружения загорания и ТВ-камерами для его видеоконтроля. Чувствительность обнаружения очага загорания составляет 0,1 м², а быстродействие — секунды; координаты размеров очага загорания определяются в трехмерной системе координат.

Два пожарных робота и более, объединенные информационной магистралью и устройством управления, формируют РУП.

Пожарный робот, так же как и промышленный (ГОСТ 25686–85 [4]), включает в себя манипулятор с мехатронной системой, сенсорную часть, систему управления и сеть управления.

Манипулятор — это механизм управления пространственным положением рабочего органа, состоящий из подвижных звеньев с мехатронной системой. Подвижные звенья пожарных роботов обеспечивают возможность транспортирования и направления потока огнетушащего вещества. Рабочим органом служит ствол с насадком, управляющим формой струи.

Мехатронная система объединяет высокоточные механизмы с силовой электроникой на базе микроконтроллеров в единый модуль без использования лишних интерфейсов.

Для определения положения рабочего органа в пространстве и характеристик окружающей среды используется сенсорная часть системы — датчики положения, давления, ИК-датчики. Сигналы, передаваемые ими, анализируются, и в зависимости от результатов принимается решение о дальнейших действиях.

Система управления пожарного робота строится на основе принципов обратной связи, подчиненного управления и иерархичности. Например, подчиненное управление системы управления приводом включает в себя систему управления приводом с обратной связью по положению, внутри которой функционирует система управления по скорости с обратной связью по скорости, а внутри нее находится контур управления по току со своей обратной связью. Иерархия системы управления роботом подразумевает де-



Рис. 1. Пожарный робот

ление системы управления на горизонтальные слои, управляющие общим поведением робота, расчетом необходимой траектории движения манипулятора, поведением его отдельных приводов, и слои, непосредственно осуществляющие управление двигателями приводов.

В современных роботах организация обмена информацией и передача управляющих команд по каналу связи выполняются сетью управления в принятой системе интерфейса (RS-232, RS-485).

На рис. 1 представлен промышленный образец пожарного робота [5]. В его дизайне применены детали андроидных роботов, что подчеркивает сближение ПР с человеком в системе человек – машина. В головной части расположены ИК- и видеокamеры с компьютером, формирующие интеллектуальный центр обработки информации для идентификации загорания и определения координат и площади загорания. Рабочим органом пожарного робота является ствол-автомат, который автоматически поддерживает давление при расходах от 8 до 80 л/с, обеспечивая оптимальные параметры струй в этом диапазоне и формируя целый спектр струй — от прямой сплошной до защитного экрана. Управление углом факела распыления струи осуществляется современными актуаторами с линейными двигателями. Для наведения струи применяются современные электроприводы с энкодерами для организации следящих систем. Контроллеры, комплектно поставляемые к блокам управления приводами, позволяют обрабатывать движение струй по сложным траекториям. Применяется компактная компоновка электрооборудования в одном корпусе со встроенным микроклиматом по температуре и влажности. Корпус со степенью взрывозащиты IP65 обеспечивает защиту электрооборудования от воздействия повышенных температур, кратковременного воздействия открытого пламени и механических воздействий различного вида. Рабочая зона действия робота — все окружающее пространство в радиусе действия струи до 85 м. Робот способен поворачиваться на 360° в горизонтальной плоскости, ствол имеет угол возвышения от –15 до +75°.



Рис. 2. Пожарный робот для защиты взрывоопасных объектов

При использовании расширенной струи зона распыления в вертикальной плоскости составляет не менее 180° . Конструкция робота защищена патентом РФ на изобретение № 2412733 [6].

На рис. 2 представлен ПР во взрывозащищенном исполнении, который применяется для защиты взрывоопасных объектов. Вид взрывозащиты 1ExdIICT4 — взрывонепроницаемая оболочка. ПР комплектуются шкафами управления также во взрывозащищенном исполнении со встроенным микроклиматом для работы на наружных установках.

На рис. 3 представлены общий вид и схема РУП. В состав РУП входят: пожарные роботы, дисковые затворы с электроприводами, пульта дистанционного управления (ПДУ), сетевой контроллер ШК-СК, устройство сопряжения с объектом (УСО), блок коммутации БК16 с приемной станцией пожарной сигнализации (ПС). В состав может входить радиопульт с блоком радиуправления.

Информация о применении пожарных роботов и РУП для защиты объектов будет предложена читателям в отдельной статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. — М.: ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с. // Российская газета. — 2008. — № 163; Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования: приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 175; введ. 01.05.2009 г. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

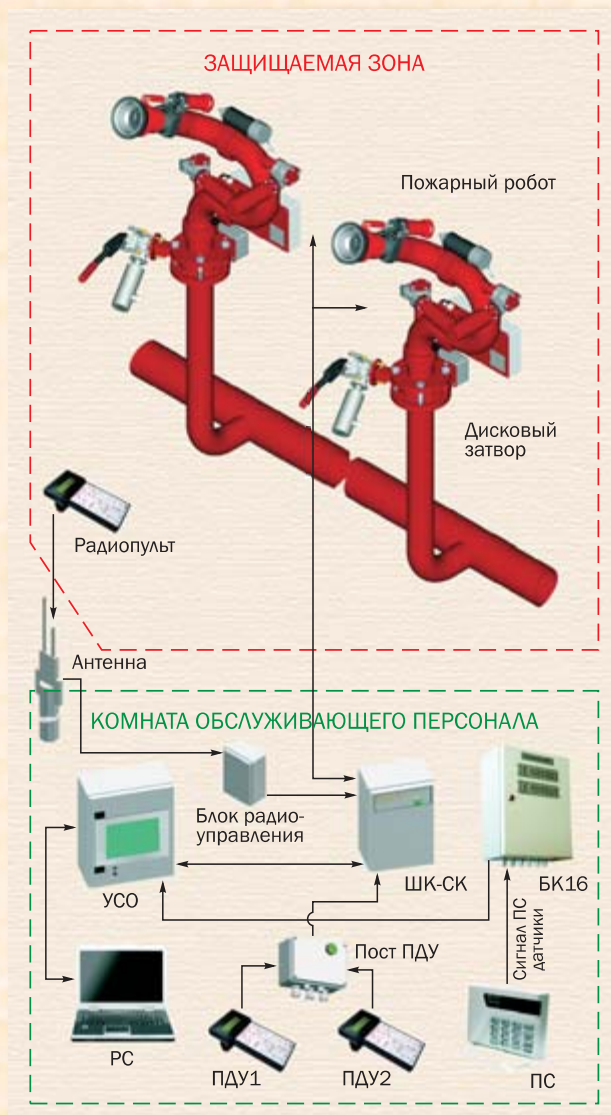


Рис. 3. Схема РУП

3. ГОСТ Р 53326–2009. Техника пожаротушения. Установки пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.01.2010 г. — М.: Стандартинформ, 2009.
4. ГОСТ 25686–85. Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Термины и определения. — Введ. 01.01.86 г. — М.: Изд-во стандартов, 1988.
5. Патент на промышленный образец 90498 Российская Федерация. МКПО 29-01. Робот пожарный / Горбань Ю. И. — № 2013501978; заявл. 29.05.2013 г.; опубл. 16.10.2014 г.
6. Патент 2412733 Российская Федерация. МПК А62С31/02. Пожарный монитор с шаровым шарниром / Горбань Ю. И. — Заявл. 18.11.2009 г.; опубл. 27.02.2011 г., Бюл. № 6.

© Ю. И. ГОРБАНЬ,

генеральный директор – главный конструктор ЗАО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР», г. Петрозаводск

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: ICA_kbs@mgsu.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: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

АНАЛИЗ ДВОЙСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ТУШЕНИЯ ПЛАМЕНИ

Показано, что для тушения пламени огнетушащими веществами характерен двойственный механизм процесса, включающий основное и сопутствующее ему действие огнетушащего вещества. Установлено, что действие сопутствующего эффекта приводит к потерям огнетушащего вещества и снижению его огнетушащей эффективности. Рассмотрена процедура определения оптимальной интенсивности подачи на примере применения распыленного хладона при тушении розлива углеводорода. Рассмотрена структура сопутствующего фактора при “подслойной” подаче пены низкой кратности при тушении резервуара с нефтепродуктом. Рассмотрены упрощенные варианты модели процесса тушения гептана.

Ключевые слова: двойственный механизм тушения; огнетушащее вещество; оптимальная и критическая интенсивность подачи; тушение локального розлива углеводорода.

Применение распыленных струй воды в спринклерных системах ведет к осаждению частиц дыма, скапливающегося под потолком. В зависимости от дисперсности капель воды слой дыма может либо опускаться вниз, препятствуя эвакуации [1], либо поглощаться ими. В работах [2–4] проведено детальное исследование эффектов вовлечения (эжекции) воздуха распыленными струями жидкости.

Вопрос об эжекции дополнительного кислорода с воздухом имеет важное значение для обоснования двойственного механизма тушения пламени огнетушащими веществами, поэтому особое внимание уделено анализу литературы, в которой приводятся экспериментальные данные по эжекции воздуха распыленными струями воды.

Для количественного анализа двойственного механизма тушения пламени, например, газами используется определяющий параметр — флегматизирующая концентрация хладона, химически активных ингибиторов (ХАИ) и нейтральных газов (НГ). В работах [5–8] предложены расчетные соотношения для определения флегматизирующей концентрации хладонов и НГ, оптимальной и критической интенсивности подачи огнетушащих веществ — химически активных ингибиторов, нейтральных газов, распыленной воды и пены при различных способах подачи их на горючую жидкость (ГЖ).

Процедура определения оптимальной интенсивности подачи при рассмотрении двойственного механизма тушения различными огнетушащими веществами во многом схожа. Рассмотрим ее на при-

мере применения распыленного хладона при тушении локального розлива углеводорода.

На рис. 1 представлены фрагменты тушения горючей жидкости в модели кольцевого зазора резервуара с плавающей крышей. Тушение проводилось путем подачи распыленной струи хладона, температура кипения которого близка к 10 °С, поэтому он хранится в герметичных емкостях под избыточным давлением. Подавался хладон к распылителю в виде жидкости, которая испарялась в зоне горения.

Тушение пожаров розливов горючих жидкостей хладонами относится к объемному способу тушения пламени, хотя интенсивность подачи огнетушащего состава рассчитывается на единицу площади поверхности горящей жидкости. Это промежуточный случай объемно-поверхностного тушения пожара.

При подаче хладона в зону горения в виде распыленной жидкости можно наблюдать процесс его испарения до поверхности горящей жидкости, т. е. испарение и накопление хладона происходит в объеме, заключенном в слое над поверхностью жидкости. Вместе с продуктами горения и воздухом пары хладона частично уносятся из зоны накопления.

Условием потухания пламени ГЖ является создание в зоне горения горючей смеси такой концентрации флегматизатора — хладона, которая соответствует минимальной флегматизирующей концентрации (МФКФ). Если концентрация хладона в горючей смеси достигнет минимального значения, то такая смесь газов будет негорючей и пожар прекратится. Минимальная флегматизирующая концентрация



Рис. 1. Фрагменты тушения пламени нефтепродукта распыленными струями химически активного ингибитора: *а* — модель кольцевого затвора резервуара с плавающей крышей; *б* — модельный очаг горящей нефти, подготовленный для подачи хладона; *в* — ликвидация пламени

хладона $\Phi_{\text{МФКФ}}$ определяется экспериментально или рассчитывается для стехиометрической смеси горючих газов [7].

Для выявления оптимальных условий процесса тушения необходимо представить и проанализировать модель процесса тушения горючей жидкости хладоном.

Исходные положения этой модели, материальный баланс ГЖ и хладона, поданного на тушение пламени, и определение оптимальной интенсивности подачи хладона для тушения были рассмотрены в работе [7].

Оптимальная интенсивность подачи хладона

$$J_{\text{opt}} = 2,7U'_m \frac{\Phi_F M_F}{\Phi_G M_G}, \quad (1)$$

где U'_m — массовая скорость выгорания горючей жидкости, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

Φ_F , Φ_G — объемные концентрации соответственно хладона и горючего газа;

M_F , M_G — молярная масса соответственно хладона и горючего газа.

Расчет критической интенсивности подачи хладона при тушении ГЖ рассмотрен в работе [11] на примере тушения пламени гептана фреоном 114В2. Расчет проводился с учетом флегматизирующей концентрации фреона и его относительного содержания в горючей смеси в сравнении с горючим газом, выраженного относительным массовым числом K_F :

$$K_F = \frac{\Phi_F M_F}{\Phi_G M_G}. \quad (2)$$

Критическую интенсивность подачи хладона $J_{\text{кр}}$ определяли по формуле

$$J_{\text{кр}} = U'_m K_F = U'_m \frac{\Phi_F M_F}{\Phi_G M_G}. \quad (3)$$

Распыленная струя жидкого хладона эжектирует в резервуар воздух, поэтому толщина тушащего

слоя h , равная расстоянию от края резервуара до фронта горения, будет возрастать и может быть определена по формуле

$$h = h_0 + \beta J, \quad (4)$$

где h_0 — высота зоны горения до начала тушения; β — коэффициент эжекции, $\text{м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с})$, показывающий, сколько м^3 воздуха в секунду захватывает 1 кг распыленной жидкости; $\beta = \Delta h/J$; J — интенсивность подачи хладона, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $\Delta h = h - h_0$.

Расход хладона на тушение G рассчитывается по уравнению

$$G = J\tau, \quad (5)$$

где τ — время тушения, с;

$$\tau = -(1/U_1) (h_0 + \beta J) \ln [1 - (J_0/J)]; \quad (6)$$

U_1 — линейная скорость движения газовой смеси с хладоном, $\text{м}/\text{с}$;

J_0 — интенсивность подачи в зону горения при минимальной флегматизирующей концентрации хладона.

Тогда

$$G = -(J/U_1) (h_0 + \beta J) \ln [1 - (J_0/J)]. \quad (7)$$

Дифференцируя G по J , найдем минимальный расход хладона на тушение: $G_{\text{min}} = dG/dJ = 0$. После дифференцирования и разложения в ряд Тейлора логарифмической функции получим квадратный трехчлен:

$$J^2 = 2J_0 J - J_0(h_0/\beta) = 0,$$

решение которого имеет вид:

$$J_{\text{opt}} = J_0 + \sqrt{J_0^2 + J_0 \frac{h_0}{\beta}}. \quad (8)$$

Коэффициент эжекции β меняется от 0,5 до 2,5 в зависимости от дисперсности капель, угла раскрытия струи жидкости и диаметра отверстия насадка распылителя, т. е. от способа подачи хладона. Соответственно будет меняться и величина J_{opt} .

Рассмотрим, как изменяется при этом минимальный удельный расход хладагента на тушение пожара, определяемый по формуле

$$G_{\min} = \frac{J_{opt}}{U_1} (h_0 + \beta J_{opt}) \ln \left(1 - \frac{J_0}{J_{opt}} \right). \quad (15)$$

При $J_{opt} = 2,7J_0$ и $\beta = 2,5$

$$G_{\min 1} = [(2,7 \cdot 0,2)/0,5] (1,0 + 2,5 \cdot 0,54) (-0,46) = 1,16 \text{ кг/м}^2.$$

При $J_{opt} = 3,4J_0$ и $\beta = 1,0$

$$G_{\min 2} = [(3,4 \cdot 0,2)/0,5] (1,0 + 1,0 \cdot 0,68) (-0,35) = 0,8 \text{ кг/м}^2.$$

Итак, с увеличением коэффициента эжекции возрастает минимальный расход хладагента на тушение единицы площади горящей жидкости. Снижение коэффициента эжекции возможно за счет использова-

ния тушащей жидкости грубого распыла, т. е. за счет увеличения размеров капель. Однако крупные капли хладагента не успевают испаряться и “тонут” в горючей жидкости, что приводит к его потерям, поэтому нужно выбрать оптимальные условия, обеспечивающие полноту его использования (рис. 2).

Параметр процесса тушения — удельный расход хладагента на тушение единицы площади горящей поверхности является основным показателем, характеризующим его огнетушащую эффективность Π . Если взять величину, обратную G , т. е. $1/G$, то этот показатель будет характеризовать огнетушащую способность 1 кг хладагента. Так, например, $\Pi = 1/G_{\min 2} = 1/0,8 = 1,25 \text{ м}^2/\text{кг}$ означает, что 1 кг хладагента может потушить $1,25 \text{ м}^2$ горящей поверхности гептана. Разделив этот показатель на время тушения, получим динамический показатель огнетушащей эффективности $\Pi_{\text{эт}}$:

$$\Pi_{\text{эт}} = (1/G)/\tau = 1/(J\tau^2). \quad (16)$$

Графически эти показатели изменяются антибатно с удельным расходом хладагента на тушение единицы площади горящей поверхности G .

Двойственный механизм тушения пламени выражен также при тушении пламени нефтепродуктов пеной. В настоящее время широко используется способ тушения пламени нефти подачей пены низкой кратности в основание резервуара с нефтью. На этом процессе можно проследить сложную структуру сопутствующего фактора. Сложность заключается в условиях применения подслоного способа. Если резервуар с нефтью имеет стационарную крышу, то пена всплывает на открытую поверхность горящей нефти (рис. 3,а), а если — плавающий понтон, то при его частичном затоплении пена поднимается непосредственно под твердую поверхность понтона (рис. 3,б).

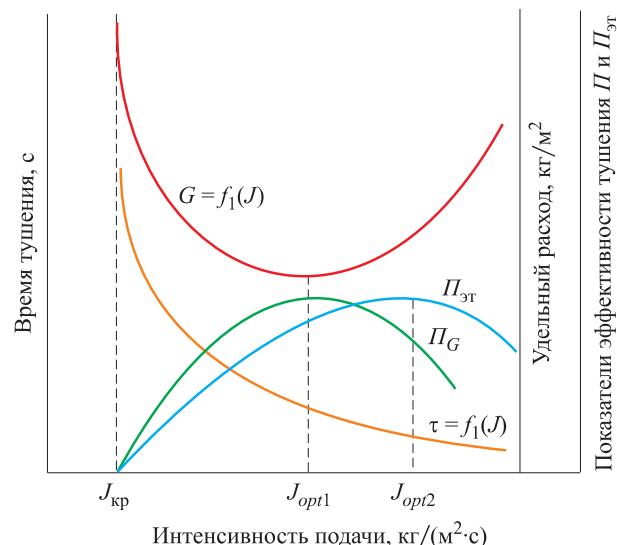


Рис. 2. Графическая иллюстрация оптимизации процесса тушения ГЖ хладагентом

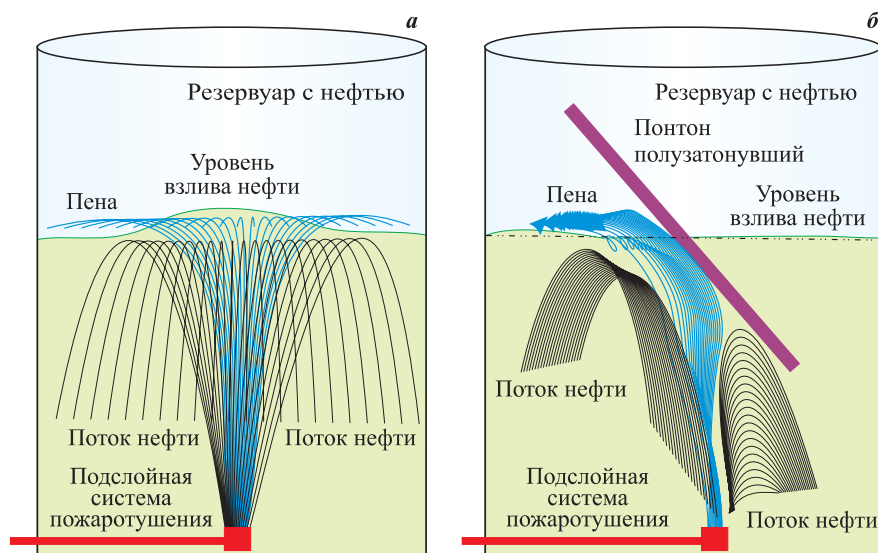


Рис. 3. Движение потоков пены и нефти в резервуаре без понтона (а) и с понтоном (б) в процессе тушения пламени нефти системой подачи пены в основание резервуара

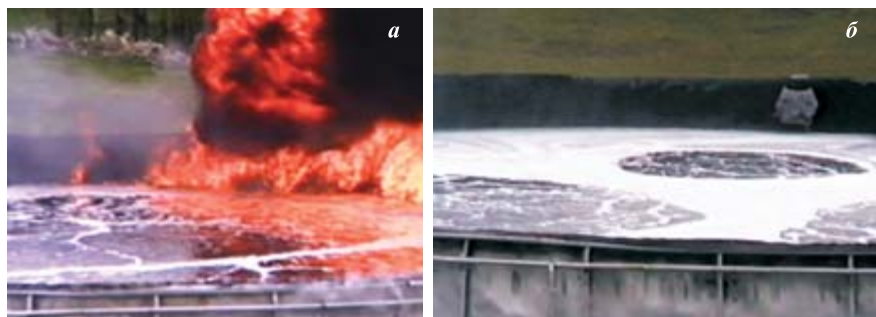


Рис. 4. Действие сопутствующего фактора при тушении нефти системой подачи пены в основание резервуара: *а* — увлечение нефти и формирование поверхностных течений горючего пеной; *б* — отгеснение пены поверхностными потоками нефти к борту (после ликвидации пожара)

Первоначально сопутствующий фактор проявляется в увлечении холодных масс нефти наверх к горячей поверхности. Этот эффект имеет два положительных действия: первое — охлаждение поверхностного слоя нефти, что снижает скорость контактного разрушения пены; второе — уничтожение за счет перемешивания нефти ее гомотермического слоя, образующегося при длительном горении. В то же время он имеет и отрицательную сторону, связанную с увлечением пеной массы нефти. Это локальный подъем уровня нефти в месте подъема пены и формирование поверхностных потоков (рис. 4, *а*), препятствующих образованию сплошного слоя пены, который необходим для предотвращения повторного воспламенения нефти. Только благодаря особым, пленкообразующим свойствам пенообразователя пожар может быть локализован и полностью потушен, хотя визуально в месте подъема пены поверхность нефти свободна от нее, так как поверхностные потоки нефти отгесняют пену к бортам (рис. 4, *б*).

При анализе процесса тушения подслоной системой подачи пены в основание резервуара с частично затонувшим понтоном структура сопутствующего фактора утрачивает одну из составляющих — локальный подъем уровня нефти в месте подъема пены. В данном случае пена при подъеме упирается в металлическую поверхность понтона и, скользя по его днищу, наклонно поднимается на поверхность горячей нефти. Здесь проявляется другой отрицательный момент сопутствующего фактора — высокая скорость поверхностных потоков нефти, которые препятствуют образованию сплошного пенного слоя.

Основываясь на результатах работ Блинова – Худякова [12], в которых исследовалась гидродинамика процесса движения жидкости, увлекаемой струей воздуха, можно определить объем нефти, который поднимается вместе с пеной на поверхность.

Форма пространства, в котором происходит движение водного потока, описывается конусом, вершина которого расположена в нижней части резервуара, в устье пенного насадка [12]. В работе [13] представлена система уравнений, позволяющая осу-

ществить анализ процесса взаимодействия пены с нефтепродуктом.

Как и в случае применения огнетушащих дисперсных систем, где увлекается окружающая среда — воздух, здесь увлекается жидкая среда — нефтепродукт, что снижает огнетушащую эффективность пены. В этом случае для достижения последней необходим слой пены большей толщины, чтобы она могла покрыть возвышенные участки нефтепродукта.

Даже когда пожар локализован и ликвидирован, в месте выхода пены на поверхность из-за встречного движения к пене ГЖ остаются практически не закрытыми обширные участки.

Характерные кривые зависимости времени тушения от интенсивности подачи пены представлены на рис. 5 и 6. Из них видно, что кривая удельного расхода проходит через хорошо выраженный минимум, что подтверждает двойственный механизм тушения пеной, при котором повышение интенсивности подачи пены ведет преимущественно к увеличению толщины ее слоя, что не только не снижает времени тушения, но и приводит к увеличению ее удельного расхода. Кривая удельного расхода пены позволяет определить оптимальную интенсивность ее подачи при тушении пламени гептана.

В процессе горения температура поверхностного слоя жидкости устанавливается на уровне температуры кипения, за вычетом тепла, отбираемого

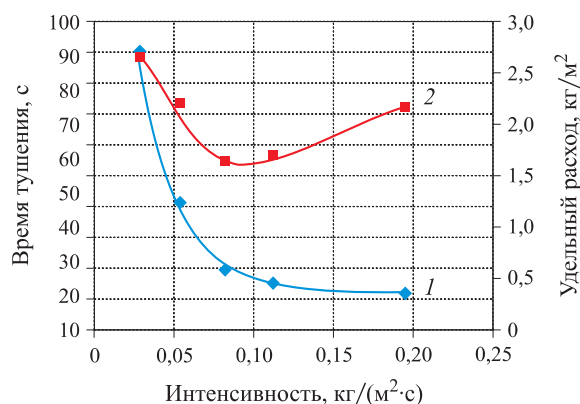


Рис. 5. Зависимость времени тушения гептана (1) и удельного расхода (2) от интенсивности подачи пены, полученной из 6 %-ного раствора пенообразователя “Шторм”

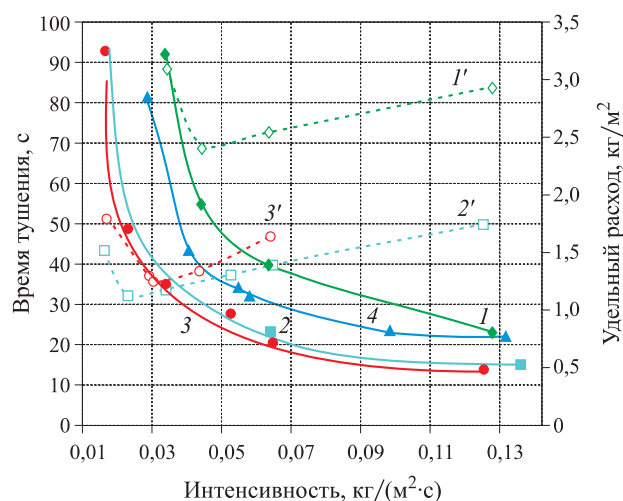


Рис. 6. Зависимость времени тушения ($I-4$) и удельного расхода ($I'-3'$) от интенсивности подачи пены, полученной из растворов пенообразователей Synisp 1 % (I, I'), Synisp 3 % ($2, 2'$), CafispS 3 % ($3, 3'$); Cafisp 1 % (4)

испаряющимися молекулами углеводорода. Температура поверхности быстро растет, несмотря на то что внутри объема жидкости сохраняется исходная температура, равная температуре окружающей среды. Чем дольше продолжается горение, тем выше становится температура в объеме горючего.

Если горит нефть или бензин, то прогревание жидкости происходит энергично, что ведет к образованию гомотермического слоя, температура которого определяется температурой кипения высокомолекулярных гомологов топлива.

В случае экспериментов по тушению пламени гептана гомотермический слой не образуется, а жидкость прогревается в глубину постепенно. Профиль температуры от поверхности в глубину слоя имеет экспоненциальный характер. Уже в первые 15–20 с температура поверхностного слоя становится близкой к температуре кипения. Толщина прогретого слоя в случае горения индивидуальной жидкости зависит от времени свободного горения. Для анализа взаимодействия нагретой поверхности с раствором пенных пленок примем, что толщина прогретого слоя определяется диапазоном температур — от температуры кипения углеводорода до температуры, при которой молекулы ПАВ — пенообразователя утрачивают поверхностную активность. В этой модели разрушение пены будет продолжаться до тех пор, пока температура в поверхностном слое гептана не снизится до температуры, обусловленной природой пенообразователя. Эта (предельная) температура определяется путем измерения поверхностного натяжения водных растворов, которое проводят при различных температурах.

Контактное разрушение пены от действия нагретой во время свободного горения жидкости про-

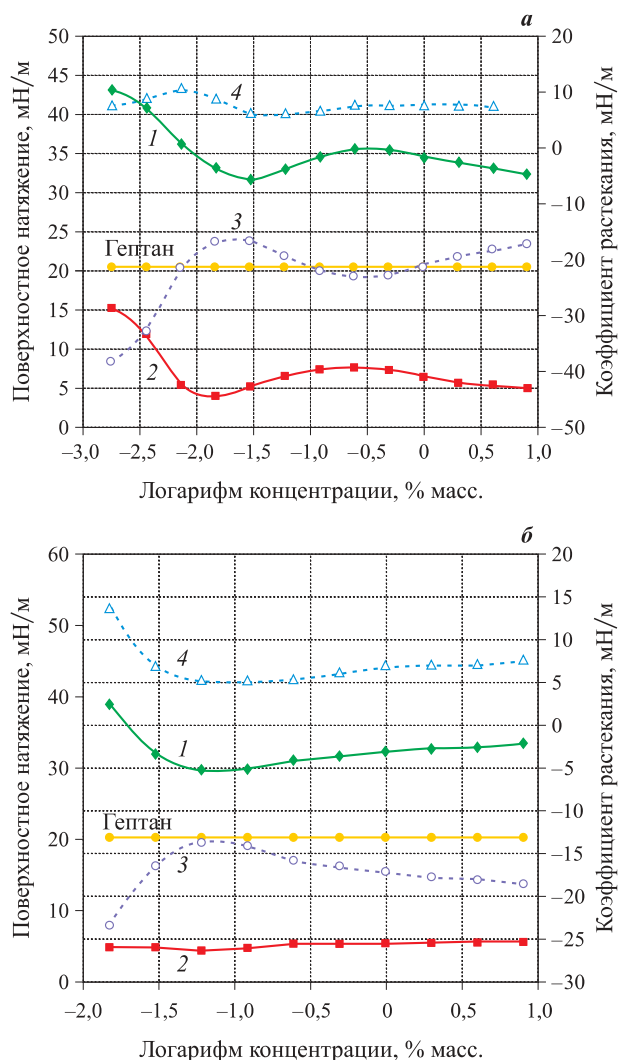


Рис. 7. Изотермы поверхностного (I) и межфазного (2) натяжения и коэффициент растекания водного раствора по гептану (3) и гептана по раствору (4) для пен, полученных из растворов лауретсульфата натрия (оксиэтилированного алкилсульфата натрия) (a) и оксида амидоамина (b)

исходит по периметру растекающейся пены или по всей площади контакта. Удельная скорость контактного разрушения пены зависит от площади открытой поверхности, еще не покрытой пеной. В зависимости от природы стабилизатора пены удельная скорость ее разрушения может сохранять постоянное значение или постепенно снижаться по мере покрытия пеной горячей поверхности.

Механизм взаимодействия пены с нагретым слоем углеводорода можно представить моделью, которая базируется на анализе изотерм поверхностного и межфазного натяжения на границе с углеводородом. Результаты систематических исследований изотерм, полученных с использованием ПАВ различного химического строения, представлены на рис. 7.

Физический смысл коэффициента растекания — это демонстрация сил, которые приложены к линии

контакта горючего с раствором. Если коэффициент растекания раствора положителен, то за счет поверхностного давления водный раствор будет растекаться по углеводороду, несмотря на то что плотность водного раствора выше, чем у гептана. Но если поверхностное натяжение рабочего раствора пенообразователя окажется заметно выше, чем у гептана, то поверхностное давление, величина которого определяется коэффициентом растекания, начнет продвигать гептан по поверхности водного раствора пенообразователя.

Если коэффициент растекания горючего по водному раствору пенообразователя при комнатных условиях положителен (см. рис. 7), то в условиях нагретого гептана поверхностное давление становится еще больше, поэтому при контакте с нагретой поверхностью происходит натекание углеводорода горячего гептана на поверхность пенных пленок.

Пленки пены достаточно тонкие, поэтому процесс их нагревания происходит практически мгновенно. В дальнейшем разрушенные пленки в виде маленьких капель попадают в нагретый поверхностный слой гептана и охлаждают его за счет конвективного теплообмена. Модель контактного взаимодействия поверхностного слоя пены и нагретого гептана показана на рис. 8.

Скорость контактного разрушения пены определяется, в первую очередь, предельной температурой, при которой утрачивается поверхностная активность пенообразователя, и температурой поверхностного слоя горящего углеводорода.

Температура поверхностного слоя при контакте с пеной будет определяться количеством тепла, которое пойдет на нагревание капель, выделившихся из разрушенной пены. В результате теплообмена капля раствора и жидкости в поверхностном слое температура поверхности гептана под пеной будет снижаться. Чем сильнее разрушается пена, тем быстрее снижается температура поверхностного слоя. Если предельная температура, при которой утрачивается стабилизирующее действие ПАВ, сравнительно высока, то пена быстро приобретает устойчивость, и ее разрушение будет происходить по периметру пенного слоя, где температура поверхности велика. Если предельная температура близка к комнатной, то разрушение пены будет продолжаться вплоть до пол-

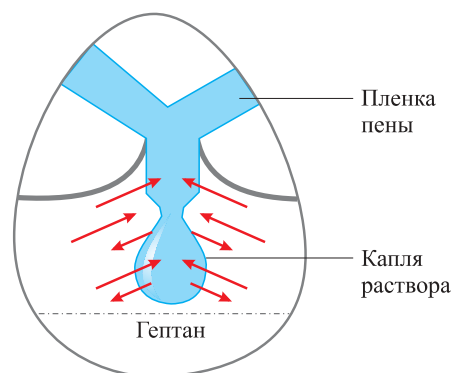


Рис. 8. Фрагмент модели контактного взаимодействия пены с нагретой жидкостью: → — направление тепловых потоков от капли и к капле

ного покрытия ею горячей поверхности. После этого поверхностный слой углеводорода перестанет получать дополнительное тепло от факела пламени, и пена начнет разрушаться под действием тепла, “запасенного” в то время, когда поверхность еще была открыта.

На рис. 9,а показан фрагмент “холостого” эксперимента по контактному взаимодействию пены с гептаном, когда пламя уже погашено с помощью металлической крышки, но поверхность гептана остается разогретой до высоких температур в результате предварительного горения. Пену подавали сразу после потухания пламени.

Снижение температуры поверхностного слоя происходит в результате съема тепла водным раствором, капающим из разрушенной пены. Наличие пламени практически не сказывается на процессе покрытия горячей поверхности пеной. На рис. 9,б представлен фрагмент процесса тушения пламени гептана той же пеной, что и на рис. 9,а. Сопоставление этих снимков наглядно демонстрирует определяющую роль контактного разрушения при подаче пены на горящую поверхность углеводорода.

Рассмотрим несколько упрощенных вариантов модели процесса тушения горящего гептана пенообразователями различной природы в зависимости от предельной температуры, при которой утрачивается поверхностная активность стабилизатора пены. В этих моделях не учитывается процесс тепломассообмена в процессе тушения пламени. Анализ роли сопутствующего фактора проведем после вывода

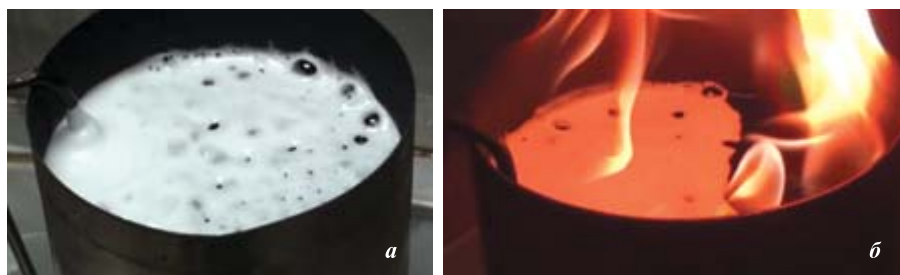


Рис. 9. Демонстрация “холостого” опыта по разрушению пены за счет контакта с предварительно нагретой пламенем поверхностью гептана (а) и контактного разрушения пены в процессе тушения пламени гептана (б)

уравнения, связывающего время тушения пламени с интенсивностью подачи пены.

В этой модели разрушение пены происходит в слое, примыкающем к линии продвижения пены по горячей поверхности углеводорода. Принимается, что при радиальном движении пены разрушению подвергается наружный слой пены шириной l . Уравнение материального баланса имеет вид:

$$q\Delta\tau = 2\pi rh\rho_f l U_l \Delta\tau + 2\pi rh\rho_f \Delta r, \quad (17)$$

где q — массовый расход пены, кг/с;

r — радиус окружности слоя пены, м;

ρ_f — плотность пены, кг/м³;

U_l — удельная скорость контактного разрушения пены в слое толщиной l , кг/(м²·с);

τ — время тушения, с.

После интегрирования и определения константы интегрирования по начальным условиям $\tau = 0$, $r = 0$ получим решение уравнения:

$$\tau = -\frac{1}{U_l l} \left\{ r + \frac{q}{2\pi h l U_l \rho_f} \right\} \ln \left(1 - \frac{2\pi h \rho_f U_l l r}{q} \right). \quad (18)$$

В следующей модели контактное разрушение пены, нагретой поверхностью горючей жидкости, происходит с одинаковой удельной скоростью U , которая остается неизменной в течение всего времени тушения. Такой вариант возможен, если предельная температура потери поверхностной активности низкая и в процессе тушения поверхность контакта не успевает охладиться до предельной температуры.

Материальный баланс пены может быть традиционно представлен уравнением

$$q\Delta\tau = S U \Delta\tau + \Delta S \rho_f h, \quad (19)$$

где S — площадь поверхности ГЖ, покрытой пеной, м².

В этой модели толщина слоя пены определяется массовым расходом и плотностью и не зависит от времени, поэтому вначале можно решить уравнение (20), а затем подставить в него значение параметра h , выраженного через q .

Решение уравнения (20) для граничных условий $\tau = 0$ при $S = 0$ имеет вид:

$$\ln \left(\frac{q - US}{q} \right) = \frac{U}{\rho_f h} \tau. \quad (20)$$

Заменив q/S_0 на J , т. е. $J = q/S_0$ (где S_0 — площадь поверхности резервуара), получим формулу

$$\tau = -\frac{h\rho_0}{KU} \ln \left(1 - \frac{U}{J} \right), \quad (21)$$

где K — кратность пены, введенная вместо ρ_f ;

$\rho_f = \rho_0 K$;

ρ_0 — плотность пенообразующего раствора.

Введем обозначения:

$$a = \beta S_0 n/2; \quad b = h_\tau n/2; \quad n = \rho_0/(KU), \quad (22)$$

где h_τ — минимальная толщина слоя пены, м.

В данной модели сопутствующее действие вводится предположением, что толщина слоя пены в непосредственной близости от падающей пены пропорционально нарастает по мере увеличения ее расхода или интенсивности подачи, т. е.

$$h_q = \beta q, \quad (23)$$

где h_q — максимальная толщина слоя пены;

β — константа, мало изменяющаяся с ростом q .

Минимальная толщина слоя пены h_τ при естественной гравитации определяется равенством $\tau/(h_\tau \rho_f g) = 1$, из которого следует:

$$h_\tau = \tau/(\rho_f g). \quad (24)$$

Выражение (24) для h_τ с учетом формул (22) используется при анализе материального баланса пены в процессе тушения горючей жидкости.

Величину q заменим на J путем деления на площадь поверхности резервуара:

$$\tau = -(aJ + b) \ln \left(1 - \frac{U}{J} \right). \quad (25)$$

Формула (25) является основой для поиска сопутствующего процесса при тушении пламени пеной. Если при $J \rightarrow \infty$ время тушения окажется постоянной величиной, то анализ сопутствующего явления — неоправданного роста толщины пенного слоя с увеличением интенсивности подачи пены позволит определить оптимальную интенсивность подачи пены и ее соотношение с критической интенсивностью:

$$\lim_{J \rightarrow \infty} (-\tau) = \lim_{J \rightarrow \infty} \left\{ aJ \ln \left(1 - \frac{U}{J} \right) + b \ln \left(1 - \frac{U}{J} \right) \right\}; \quad (26)$$

$$\lim_{J \rightarrow \infty} (-\tau) = -aU \ln \left\{ \lim_{J \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{U}{J} \right)^{-J/U} \right\} = -aU. \quad (27)$$

Наличие предела — постоянной величины aU позволяет отыскать оптимальную интенсивность подачи пены J_{opt} , при которой ее удельный расход на тушение пламени горючей жидкости Q окажется минимальным. Удельный расход пены рассчитывается по формуле

$$Q = J\tau = (aJ^2 + bJ) \ln \left(1 - \frac{U}{J} \right). \quad (28)$$

Минимальный расход пены Q_{min} определим, приравняв производную от Q к нулю:

$$\frac{dQ}{dJ} = (2aJ + b) \ln \left(1 - \frac{U}{J} \right) + aU + \frac{bU}{J} = 0. \quad (29)$$

Разложим выражение под логарифмом в ряд Маклорена и для рассмотрения ограничимся двумя первыми членами этого ряда. Получим квадратное уравнение, один из корней которого положителен:

$$J_{opt} = U \left[1 + \sqrt{1 + b/(2aU)} \right]. \quad (30)$$

В области интенсивностей, близких к оптимальным, можно принять, что отношение h_q/U близко к h_q/J . В этом случае

$$b/(2aU) \cong 0,5 \quad (31)$$

и соответственно:

$$J_{opt} = 2,2U. \quad (32)$$

Удельная скорость контактного разрушения пены равна критической интенсивности подачи пенообразующего раствора, т. е. $U \approx J_{кр}$, поэтому

$$J_{opt} \cong 2,2J_{кр}. \quad (33)$$

Минимальный расход пенообразователя на тушение единицы площади поверхности горючей жидкости определяется подстановкой значения $J = 2,2U$.

Отношение $b/(aU)$ анализировалось ранее и в области интенсивностей, близких к оптимальным, в результате чего получено: $b/(aU) \cong 1$. В соответствии с этим упрощается и вид формулы:

$$Q_{min} = 2aJ^2 \ln \left(1 - \frac{U}{J} \right). \quad (34)$$

Используя ряд подстановок и выражение $J = 2,2U$, получим:

$$Q_{min} = 2,9 \frac{\rho_0 h_q U}{K J}. \quad (35)$$

В соответствии с формулой (35) минимальный расход пенообразователя прямо пропорционален удельной скорости контактного разрушения пены и

высоте пенного слоя вблизи места подачи пенной струи.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о двойственном универсальном механизме тушения пламени огнетушащими веществами, который включает основное и сопутствующее действие огнетушащего вещества: основное — снижение температуры в зоне горения поглощением тепла на фазовые превращения (испарение, разложение и нагревание, снижение интенсивности поступления горючего компонента); сопутствующее — увлечение дисперсной системой дополнительного объема воздуха в зону горения (например, как при тушении газами или водой) или создание условий, препятствующих растеканию, например, пены, а также повышение температуры и расширение зоны горения и, как следствие, снижение эффективности огнетушащего вещества. Действие сопутствующего процесса приводит к дополнительным потерям огнетушащего вещества и снижению его огнетушащей эффективности. Чем выше интенсивность подачи огнетушащего вещества, тем сильнее выражен сопутствующий эффект.

Наличие двойственного механизма тушения огнетушащим веществом обуславливает существование оптимальной интенсивности подачи и минимального удельного расхода его при тушении пламени твердых горючих материалов и ГЖ.

Расчетные соотношения для определения флегматизирующей концентрации хладонов и нейтральных газов, определения оптимальной и критической интенсивности подачи огнетушащих веществ (химически активных ингибиторов, нейтральных газов, распыленной воды, пены) при различных способах подачи на горючую жидкость дают возможность количественно обосновать двойственный механизм тушения пламени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Morgan H. P., Bullen M. L. A method of extracting smoke from buildings using a water-air jet pump [Метод удаления дыма из зданий с помощью водовоздушных струйных насосов] // Fire Technology. — 1976. — Vol. 12, Issues 4. — P. 311–320. doi: 10.1007/BF02624808.
2. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие средства. Химико-физические процессы при горении и тушении. — М. : Стройиздат, 1975. — 240 с.
3. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Тушение горючих жидкостей распыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 11. — С. 70–74.
4. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2-х ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.
5. Корольченко А. Я., Навценя В. Ю. Влияние инертных частиц на нижний концентрационный предел распространения пламени // Пожарная опасность веществ и материалов, применяемых в промышленности. — М. : ВНИИПО, 1987. — С. 17.

6. Sharovarnikov A. F., Korol'chenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings // *Applied Mechanics and Materials*. — 2014. — Vol. 475–476. — P. 1344–1350. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.475-476.1344.
7. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Тушение горючих жидкостей высококипящими хладагентами // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 67–71.
8. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Ляпин А. В. Тушение многокомпонентных смесевых топлив фторсинтетическими пенообразователями подслоинным способом // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 76–80.
9. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Основные параметры процесса тушения пламени нефтепродуктов пеной низкой кратности // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 7. — С. 65–73.
10. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пламени огнетушащими порошками и аэрозольными составами // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 8. — С. 63–68.
11. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пожаров инертными газами в модели помещения с проемами // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 2. — С. 65–70.
12. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М.: АН СССР, 1961. — 208 с.
13. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М.: Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.

Материал поступил в редакцию 27 октября 2014 г.

English

ANALYSIS OF THE DUAL FIRE SUPPRESSION MECHANISM

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: ICA_kbs@mgsu.ru)

SHAROVARNIKOV A. F., Doctor of Technical 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: ICA_kbs@mgsu.ru)

ABSTRACT

It is shown that suppression of flame by fire extinguishing agents is characterized by dual mechanism of this process including the main and the concurrent effects of fire extinguishing agent. It is determined that the action of concurrent effect leads to losses of fire extinguishing agent and deterioration of its extinguishing efficiency. Procedure of determination of optimal flow rate, by the example of the sprayed freon, during suppression of hydrocarbon pouring is considered. The structure of concurrent factor in case of “sublayer” supply of low expansion foam during suppression of the tank with oil product is considered. The simplified models of suppression process of heptane are considered.

Keywords: dual mechanism of suppression; extinguishing agent; the optimal and the critical flow rate; suppression of a local hydrocarbon pouring.

REFERENCES

1. Morgan H. P., Bullen M. L. A method of extracting smoke from buildings using a water-air jet pump. *Fire Technology*, 1976, vol. 12, issues 4, pp. 311–320. doi: 10.1007/BF02624808.
2. Schreiber G., Porst P. *Ognetushashchiye sredstva. Khimiko-fizicheskiye protsessy pri gorenii i tushenii* [Fire extinguishing agents. Chemical and physical processes while burning and suppression]. Moscow, Stroyizdat, 1975. 240 p.
3. Sharovarnikov A. F., Korol'chenko D. A. Tusheniye goryuchikh zhidkostey raspyslennoy vodoy [Extinguishing of combustible liquid by atomized water]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 11, pp. 70–74.

4. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. 2-e izd.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference. 2nd ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.
5. Korol'chenko A. Ya., Navtsenya V. Yu. Vliyaniye inertnykh chastits na nizhniy kontsentratsionnyy predel rasprostraneniya plameni [Influence of inert particles on the lower concentration limit of distribution of a flame]. *Pozharnaya opasnost veshchestv i materialov, primenyayemykh v promyshlennosti* [Fire hazard of substances and materials used in industry]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, 1987, p. 17.
6. Sharovarnikov A. F., Korol'chenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 475–476, pp. 1344–1350. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.475-476.1344.
7. Korol'chenko D. A., Sharovarnikov A. F. Tusheniye goryuchikh zhidkostey vysokokipyashchimi khladonami [Combustible liquids suppression with high-boiling halons]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 67–71.
8. Sharovarnikov S. A., Korol'chenko D. A., Lyapin A. V. Tusheniye mnogokomponentnykh smesevykh topliv ftorsinteticheskimi penoobrazovatelyami podsloynym sposobom [Extinguishing of the multi-component composite fuels by aqueous film forming foam by sublayer way]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 76–80.
9. Korol'chenko D. A., Sharovarnikov A. F. Osnovnyye parametry protsessa tusheniya plameni nefteproduktov penoy nizkoy kratnosti [Main parameters of extinguishing of the oil flame by low expansion foam]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 7, pp. 65–73.
10. Korol'chenko D. A., Sharovarnikov A. F. Tusheniye plameni ognetushashchimi poroshkami i aerolnymi sostavami [Extinguishing of a flame by dry chemical powders and aerosol compositions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 8, pp. 63–68.
11. Korol'chenko D. A., Sharovarnikov A. F. Tushenie pozharov inertnymi gazami v modeli pomeshcheniya s proyemami [Fire extinguishing by inert gases in the model of room with openings]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 2, pp. 65–70.
12. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye goreniye zhidkostey* [Diffusion burning of liquids]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
13. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefi i nefteproduktov* [Fire extinguishing of oil and oil products]. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p.

Н. Ю. ПИВОВАРОВ, начальник караула, Главное управление МЧС России по Новосибирской области (Россия, 630099, г. Новосибирск, ул. Октябрьская, 80)

А. А. ТАРАНЦЕВ, д-р техн. наук, профессор, профессор Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149); заведующий лабораторией Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я Линия ВО, 13; e-mail: t_54@mail.ru)

УДК 614.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДООТДАЧИ КОЛЬЦЕВЫХ СЕТЕЙ НАРУЖНОГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОПРОВОДА

Изложены проблемы обеспечения достаточности водоснабжения при тушении крупных пожаров на объектах. Показано, что на основе уравнений гидравлического баланса можно определять расходы в кольцевой сети при различном числе задействованных гидрантов и с учетом перепадов высот на местности. Рассмотрена возможность решения систем уравнений гидравлического баланса с использованием современных компьютерных систем. Проведено сравнение водоотдачи кольцевых сетей наружного противопожарного водопровода, определенной по известным справочникам и на основе компьютерного моделирования. Показано, что справочники дают завышенные значения водоотдачи, что негативно сказывается на процессе тушения реальных пожаров. Приведен пример расчета для реальной кольцевой сети Санкт-Петербурга. Сформулированы предложения по объективным оценкам водоотдачи при составлении планов тушения пожаров.

Ключевые слова: сеть наружного противопожарного водопровода; тушение крупных пожаров; моделирование водоотдачи; пожарный гидрант; планирование.

При составлении планов тушения пожаров (ПТП) [1] на объектах, входящих в соответствующие перечни гарнизонов пожарной охраны, определяется достаточность водоснабжения при ожидаемых схемах развертывания сил и средств пожарной охраны. Подachu воды в случае пожара планируется осуществлять, как правило, от пожарных гидрантов (далее — ПГ) сетей наружного противопожарного водопровода (далее — НППВ) [2]. Водоотдача этих сетей определяется по справочникам руководителя тушения пожара (РТП) [3], исходя из вида сети (тупиковая или кольцевая), диаметра трубопровода d и давления в сети p (табл. 1).

Таблица 1. Водоотдача кольцевых сетей НППВ

Напор в сети, м вод. ст.	Водоотдача сети Q_k , л/с, при диаметре трубы d , мм					
	100	150	200	250	300	350
10	25	55	65	85	115	130
20	30	70	90	115	170	195
30	40	80	110	145	205	235
40	45	95	130	185	235	280
50	50	105	145	200	265	325
60	52	110	163	225	290	380
70	58	130	182	255	330	440
80	64	140	205	287	370	500

Как показано в работе [4], в ходе тушения некоторых пожаров по повышенному номеру возникают ситуации, когда фактическая водоотдача сети НППВ недостаточна, хотя согласно табл. 1 [3] и ПТП данная сеть должна обеспечивать требуемый расход воды. Это резко осложняет тушение пожара и приводит к необходимости изыскивать альтернативные водоисточники, вызывать дополнительные силы и средства и т. п. В работе [4] показано также, что такая ситуация возможна из-за игнорирования ряда дополнительных факторов, влияющих на водоотдачу сети НППВ, при составлении ПТП (количества и взаимного расположения задействованных ПГ, рельефа местности, возможностей насосных станций). Применительно к тупиковым сетям НППВ дан уточненный метод оценки их водоотдачи. Для каждой сети предложено также составлять паспорт водоотдачи при различных вариантах расстановки пожарных автомобилей на ПГ.

В настоящей работе представляется целесообразным рассмотреть вопросы моделирования водоотдачи Q_k кольцевых сетей НППВ с учетом различных вариантов задействования ПГ.

При моделировании водоотдачи будем использовать следующие общепринятые допущения:

1. Жидкость несжимаемая. Потери давления Δp между соседними i -м и j -м задействованными ПГ подчиняются закону Дарси – Вейсбаха [5]:

$$\Delta p = A q_{ij}^2 + \rho g \Delta h_{ij}, \quad (1)$$

где A — коэффициент сопротивления, кг/м^7 ;
 q_{ij} — расход воды от i -го к j -му задействованному ПГ, $\text{м}^3/\text{с}$;
 Δh_{ij} — перепад высот между i -м и j -м задействованными ПГ (если i -й гидрант ниже j -го, то $\Delta h_{ij} > 0$, в противном случае — $\Delta h_{ij} \leq 0$), м;
 ρ — плотность перекачиваемой жидкости (для воды $\rho \approx 1000 \text{ кг/м}^3$);
 g — ускорение свободного падения; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.
 Величина A учитывает линейные и местные гидравлические потери и определяется из выражения [4]:

$$A = 0,5\rho \sum_{k=1}^n \frac{\xi_{\text{лк}} + \xi_{\text{мк}}}{F_k^2}, \quad (2)$$

где n — количество отрезков трубопровода, образующих рассматриваемый участок;
 $\xi_{\text{лк}}, \xi_{\text{мк}}$ — коэффициент линейного сопротивления и сумма коэффициентов местных сопротивлений на k -м отрезке трубопровода;
 F_k — площадь проходного сечения трубопровода на k -м отрезке, м^2 .
 Значения $\xi_{\text{мк}}$ определяются по справочникам (например, [6]). Коэффициент линейного сопротивления $\xi_{\text{лк}}$ может быть найден из выражения

$$\xi_{\text{лк}} = \lambda L/d, \quad (3)$$

где L, d — длина и диаметр трубопровода на k -м отрезке, м;

λ — коэффициент, зависящий от шероховатости стенок трубы и числа Рейнольдса, который может быть оценен также по формуле Альтшуля:

$$\lambda \approx 0,11 (K_s/d)^{0,25}, \quad (4)$$

K_s — абсолютная эквивалентная шероховатость стенок для труб из различных материалов [6].

2. Напорно-расходная характеристика насоса имеет вид [7]:

$$p = p_n - A_n Q^2 + \rho g \Delta h, \quad (5)$$

где p, Q — давление и расход воды на выходе из насоса;

p_n, A_n — гидравлические характеристики насоса;
 Δh — перепад высот между местом расположения насоса и вводом в кольцевую сеть.

3. Водоотдача из j -го ПГ Q_j может быть оценена по выражению

$$Q_j = q_{ij} \pm q_{jk} = (p_j/A_{\text{пг}j})^{0,5}, \quad (6)$$

где q_{jk} — расход от j -го задействованного ПГ к k -му;
 p_j, Q_j — давление и расход на выходе из j -го ПГ;
 $A_{\text{пг}j}$ — коэффициент сопротивления j -го ПГ.

На основе выражений (1)–(6) составляется система нелинейных (квадратичных) алгебраических уравнений, решение которых численными методами позволяет определить расходы $\{Q_j\}$ из задействованных ПГ сети НППВ. Следует заметить, что может быть получено сразу несколько решений. Из них

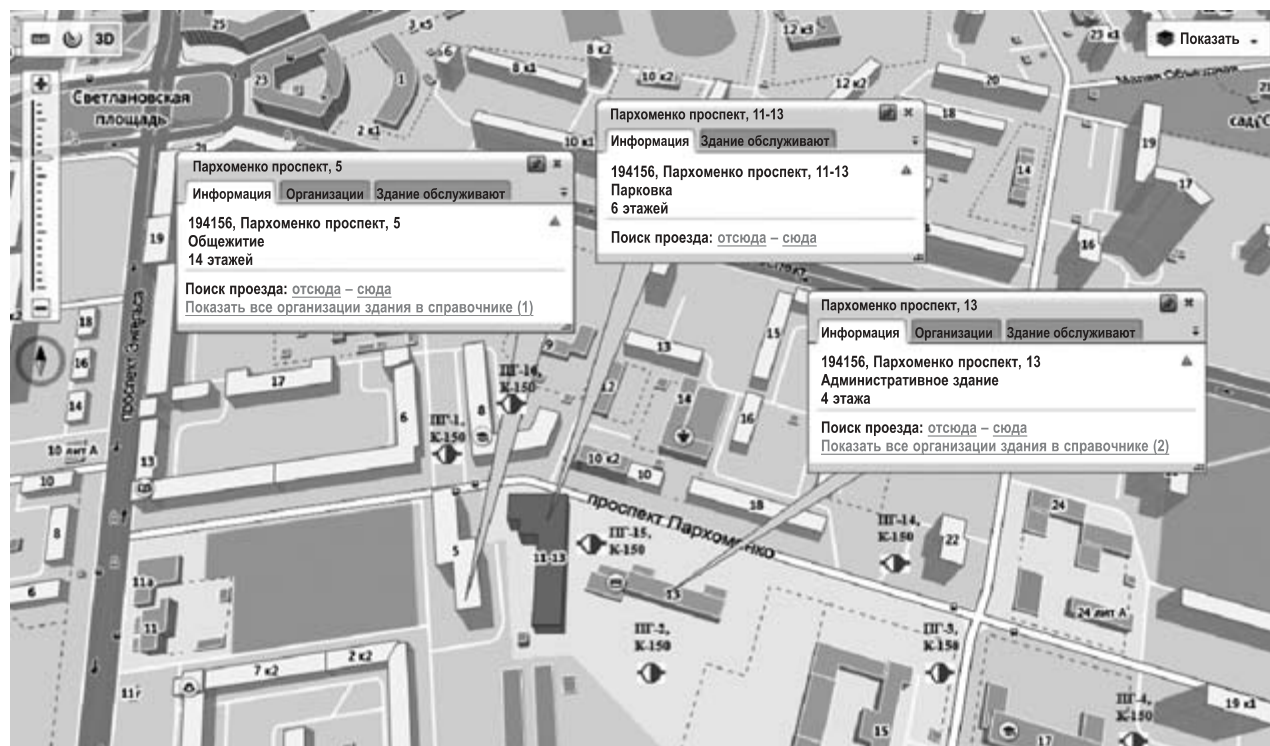


Рис. 1. Фрагмент карты Санкт-Петербурга с нанесенными ПГ, которые могут быть задействованы при тушении 6-этажного паркинга (выделен красным) и защиты соседних зданий

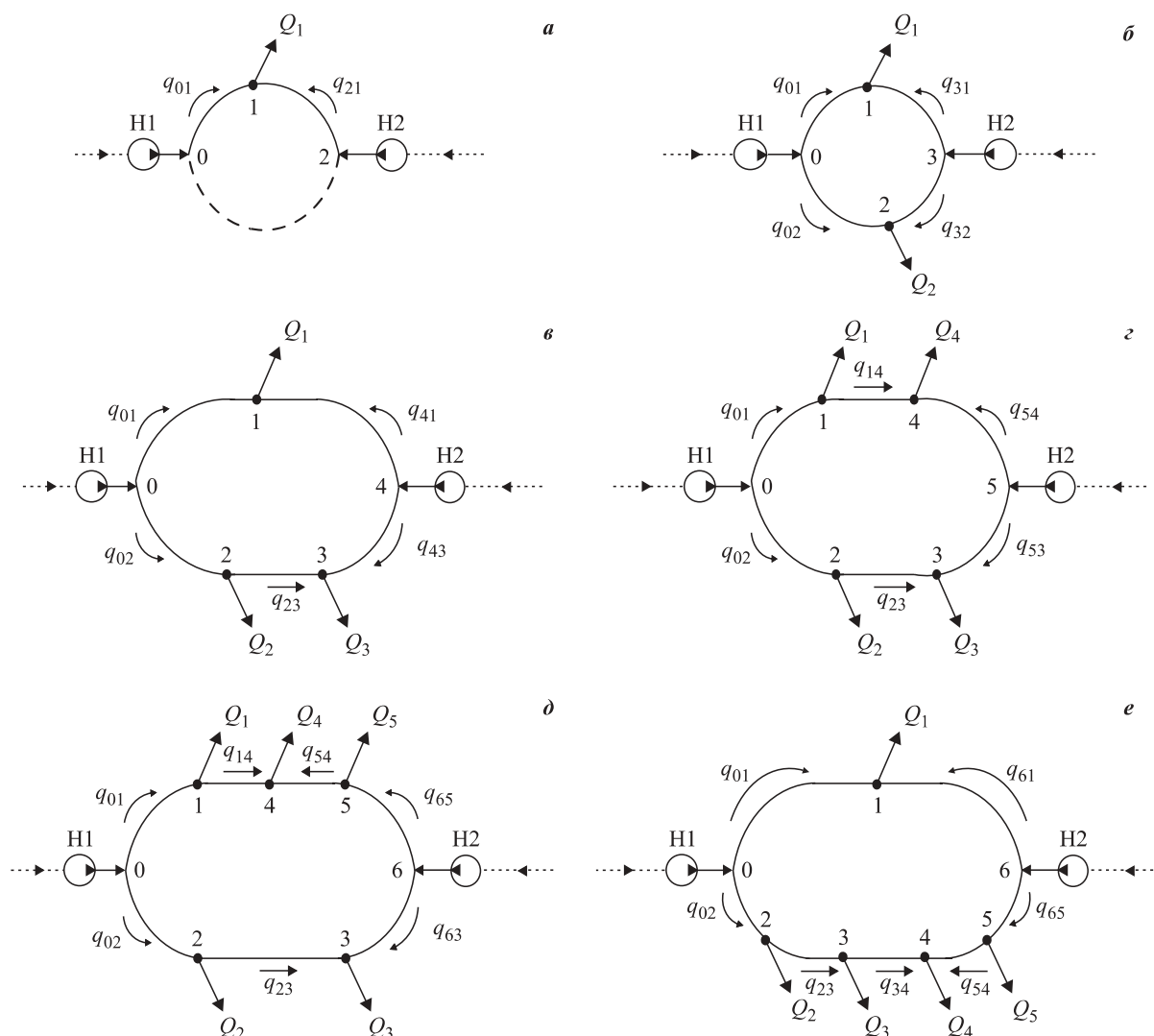


Рис. 2. Гидравлические схемы задействия ПГ кольцевой сети НППВ: а — 1 ПГ; б — 2 ПГ; в — 3 ПГ; г — 4 ПГ; д, е — 5 ПГ

необходимо отобрать то, у которого значения $\{Q_j\}$ положительные.

Искомая водоотдача кольцевой сети НППВ Q_k определяется как сумма расходов из N задействованных ПГ:

$$Q_k = \sum_{j=1}^N Q_j. \quad (7)$$

Если величина Q_k превышает требуемый расход на тушение пожара, то считается, что водоотдача кольцевой сети НППВ достаточна. В противном случае необходимо предпринять такие меры, как повышение давления в сети, оборудование дополнительных водоисточников, подвоз воды и т. п.

Следует обратить внимание на то, что рассчитанная с помощью изложенного метода водоотдача отличается от табличных значений [3] в меньшую (!) сторону, что создает опасный прецедент. Другими словами, составление ПТП с использованием таблиц справочника [3] может привести к ошибочному (!) выводу о достаточности водоснабжения на объекте.

На практике может оказаться, что водоотдача кольцевой сети НППВ недостаточна со всеми вытекающими отсюда отрицательными последствиями.

Для наглядности данный подход продемонстрирован на примере реальной кольцевой сети НППВ Санкт-Петербурга по просп. Пархоменко [8] диаметром $d = 150$ мм (рис. 1) при условии включения от 1 до 5 ПГ. Схемы показаны на рис. 2. Полагая, что используются насосы типа Grundfos CR, перепады высот незначительны ($\Delta h_{ij} \approx 0$, что характерно для Санкт-Петербурга), а гидравлические сопротивления ПГ одинаковы, для различных вариантов задействия ПГ провели моделирование водоотдачи этой сети в среде MathCad* путем решения уравнений, представленных в табл. 2, с учетом расстояний (табл. 3). Результаты моделирования приведены в табл. 4. Как следует из полученных результатов, данные о водоотдаче кольцевой сети НППВ, при-

* Промежуточные данные, результаты и тексты программ не приводятся.

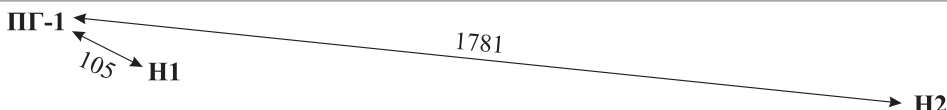
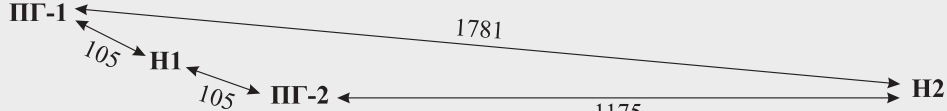
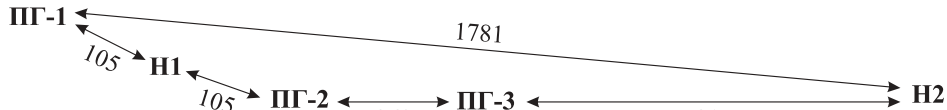
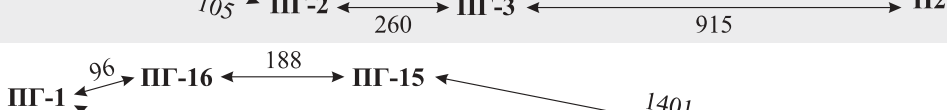
Таблица 2. Уравнения для моделирования водоотдачи кольцевой сети НППВ при задействовании нескольких ПГ

Схема	Исходные уравнения	Уравнения для расчетов
Рис. 2,а	$p_0 = p_{н1} - A_{н1} q_{01}^2 + \rho g(h_{н1} - h_0)$ $p_1 = A_{п1}(q_{01} + q_{21})^2 + \rho g(h_1 - h_1)$ $p_2 = p_{н2} - A_{н2} q_{21}^2 + \rho g(h_{н2} - h_2)$ $p_0 - p_1 = A_{01} q_{01}^2 + \rho g(h_1 - h_0)$ $p_2 - p_1 = A_{21} q_{21}^2 + \rho g(h_1 - h_2)$	$p_{н1} + \rho g(h_{н1} - h_r) = A_{п1}(q_{01} + q_{21})^2 + (A_{н1} + A_{01}) q_{01}^2$ $p_{н2} + \rho g(h_{н2} - h_r) = A_{п1}(q_{01} + q_{21})^2 + (A_{н2} + A_{21}) q_{21}^2$ $Q_1 = q_{01} + q_{21} > 0$ $Q_k = Q_1$
Рис. 2,б	$p_0 = p_{н1} - A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + \rho g(h_{н1} - h_0)$ $p_1 = A_{п1}(q_{01} + q_{31})^2 + \rho g(h_{r1} - h_1)$ $p_2 = A_{п2}(q_{02} + q_{32})^2 + \rho g(h_{r2} - h_2)$ $p_3 = p_{н2} - A_{н2}(q_{31} + q_{32})^2 + \rho g(h_2 - h_3)$ $p_0 - p_1 = A_{01} q_{01}^2 + \rho g(h_1 - h_0)$ $p_0 - p_2 = A_{02} q_{02}^2 + \rho g(h_2 - h_0)$ $p_3 - p_1 = A_{31} q_{31}^2 + \rho g(h_1 - h_3)$ $p_3 - p_2 = A_{32} q_{32}^2 + \rho g(h_2 - h_3)$	$p_{н1} + \rho g(h_{н1} - h_{r1}) = A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + A_{п1}(q_{01} + q_{31})^2 + A_{01} q_{01}^2$ $p_{н1} + \rho g(h_{н1} - h_{r2}) = A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + A_{п2}(q_{02} + q_{32})^2 + A_{02} q_{02}^2$ $p_{н2} + \rho g(h_{н2} - h_{r1}) = A_{н2}(q_{31} + q_{32})^2 + A_{п1}(q_{01} + q_{31})^2 + A_{31} q_{31}^2$ $p_{н2} + \rho g(h_{н2} - h_{r2}) = A_{н2}(q_{31} + q_{32})^2 + A_{п2}(q_{02} + q_{32})^2 + A_{32} q_{32}^2$ $Q_1 = q_{01} + q_{31} > 0$ $Q_2 = q_{02} + q_{32} > 0$ $Q_k = Q_1 + Q_2$
Рис. 2,в	$p_0 = p_{н1} - A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + \rho g(h_{н1} - h_0)$ $p_1 = A_{п1}(q_{01} + q_{41})^2 + \rho g(h_{r1} - h_1)$ $p_2 = A_{п2}(q_{02} - q_{23})^2 + \rho g(h_{r2} - h_2)$ $p_3 = A_{п3}(q_{23} + q_{43})^2 + \rho g(h_{r3} - h_3)$ $p_4 = p_{н2} - A_{н2}(q_{41} + q_{43})^2 + \rho g(h_{н2} - h_4)$ $p_0 - p_1 = A_{01} q_{01}^2 + \rho g(h_1 - h_0)$ $p_0 - p_2 = A_{02} q_{02}^2 + \rho g(h_2 - h_0)$ $p_2 - p_3 = A_{23} q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2)$ $p_4 - p_1 = A_{41} q_{41}^2 + \rho g(h_1 - h_4)$ $p_4 - p_3 = A_{43} q_{43}^2 + \rho g(h_3 - h_4)$	$p_{н1} + \rho g(h_{н1} - h_{r1}) = A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + A_{п1}(q_{01} + q_{41})^2 + A_{01} q_{01}^2$ $p_{н1} + \rho g(h_{н1} - h_{r2}) = A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + A_{п2}(q_{02} - q_{23})^2 + A_{02} q_{02}^2$ $p_{н2} + \rho g(h_{н2} - h_{r1}) = A_{н2}(q_{41} + q_{43})^2 + A_{п1}(q_{01} + q_{41})^2 + A_{41} q_{41}^2$ $p_{н2} + \rho g(h_{н2} - h_{r3}) = A_{н2}(q_{41} + q_{43})^2 + A_{п3}(q_{23} + q_{43})^2 + A_{43} q_{43}^2$ $\rho g(h_{r2} - h_{r3}) = A_{п3}(q_{23} + q_{43})^2 - A_{п2}(q_{02} - q_{23})^2 + A_{23} q_{23}^2$ $Q_1 = q_{01} + q_{41} > 0$ $Q_2 = q_{02} - q_{23} > 0$ $Q_3 = q_{43} + q_{23} > 0$ $Q_k = Q_1 + Q_2 + Q_3$
Рис. 2,г	$p_0 = p_{н1} - A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + \rho g(h_{н1} - h_0)$ $p_1 = A_{п1}(q_{01} - q_{14})^2 + \rho g(h_{r1} - h_1)$ $p_2 = A_{п2}(q_{02} - q_{23})^2 + \rho g(h_{r2} - h_2)$ $p_3 = A_{п3}(q_{23} + q_{53})^2 + \rho g(h_{r3} - h_3)$ $p_4 = A_{п4}(q_{14} + q_{54})^2 + \rho g(h_{r4} - h_4)$ $p_5 = p_{н2} - A_{н2}(q_{54} + q_{53})^2 + \rho g(h_{н2} - h_5)$ $p_0 - p_1 = A_{01} q_{01}^2 + \rho g(h_1 - h_0)$ $p_0 - p_2 = A_{02} q_{02}^2 + \rho g(h_2 - h_0)$ $p_2 - p_3 = A_{23} q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2)$ $p_1 - p_4 = A_{14} q_{14}^2 + \rho g(h_4 - h_1)$ $p_5 - p_4 = A_{54} q_{54}^2 + \rho g(h_4 - h_5)$ $p_5 - p_3 = A_{53} q_{53}^2 + \rho g(h_3 - h_5)$	$p_{н1} + \rho g(h_{н1} - h_{r1}) = A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + A_{п1}(q_{01} - q_{14})^2 + A_{01} q_{01}^2$ $p_{н1} + \rho g(h_{н1} - h_{r2}) = A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + A_{п2}(q_{02} - q_{23})^2 + A_{02} q_{02}^2$ $p_{н2} + \rho g(h_{н2} - h_{r3}) = A_{н2}(q_{54} + q_{53})^2 + A_{п3}(q_{23} + q_{53})^2 + A_{53} q_{53}^2$ $p_{н2} + \rho g(h_{н2} - h_{r4}) = A_{н2}(q_{54} + q_{53})^2 + A_{п4}(q_{14} + q_{54})^2 + A_{54} q_{54}^2$ $\rho g(h_{r1} - h_{r4}) = A_{п4}(q_{14} + q_{54})^2 - A_{п1}(q_{01} - q_{14})^2 + A_{14} q_{14}^2$ $\rho g(h_{r2} - h_{r3}) = A_{п3}(q_{23} + q_{53})^2 - A_{п2}(q_{02} - q_{23})^2 + A_{23} q_{23}^2$ $Q_1 = q_{01} - q_{14} > 0$ $Q_2 = q_{02} - q_{23} > 0$ $Q_3 = q_{23} + q_{53} > 0$ $Q_4 = q_{14} + q_{54} > 0$ $Q_k = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$
Рис. 2,д	$p_0 = p_{н1} - A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + \rho g(h_{н1} - h_0)$ $p_1 = A_{п1}(q_{01} - q_{14})^2 + \rho g(h_{r1} - h_1)$ $p_2 = A_{п2}(q_{02} - q_{23})^2 + \rho g(h_{r2} - h_2)$ $p_3 = A_{п3}(q_{63} + q_{23})^2 + \rho g(h_{r3} - h_3)$ $p_4 = A_{п4}(q_{14} + q_{54})^2 + \rho g(h_{r4} - h_4)$ $p_5 = A_{п5}(q_{65} - q_{54})^2 + \rho g(h_{r5} - h_5)$ $p_6 = p_{н2} - A_{н2}(q_{65} + q_{63})^2 + \rho g(h_{н2} - h_6)$ $p_0 - p_1 = A_{01} q_{01}^2 + \rho g(h_1 - h_0)$ $p_0 - p_2 = A_{02} q_{02}^2 + \rho g(h_2 - h_0)$ $p_2 - p_3 = A_{23} q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2)$ $p_1 - p_4 = A_{14} q_{14}^2 + \rho g(h_4 - h_1)$ $p_5 - p_4 = A_{54} q_{54}^2 + \rho g(h_4 - h_5)$ $p_6 - p_3 = A_{63} q_{63}^2 + \rho g(h_3 - h_6)$ $p_6 - p_5 = A_{65} q_{65}^2 + \rho g(h_5 - h_6)$	$p_{н1} + \rho g(h_{н1} - h_{r1}) = A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + A_{п1}(q_{01} - q_{14})^2 + A_{01} q_{01}^2$ $p_{н1} + \rho g(h_{н1} - h_{r2}) = A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + A_{п2}(q_{02} - q_{23})^2 + A_{02} q_{02}^2$ $p_{н2} + \rho g(h_{н2} - h_{r3}) = A_{н2}(q_{65} + q_{63})^2 + A_{п3}(q_{63} + q_{23})^2 + A_{63} q_{63}^2$ $p_{н2} + \rho g(h_{н2} - h_{r5}) = A_{н2}(q_{65} + q_{63})^2 + A_{п5}(q_{65} - q_{54})^2 + A_{65} q_{65}^2$ $\rho g(h_{r1} - h_{r4}) = A_{п4}(q_{14} + q_{54})^2 - A_{п1}(q_{01} - q_{14})^2 + A_{14} q_{14}^2$ $\rho g(h_{r2} - h_{r3}) = A_{п3}(q_{23} + q_{63})^2 - A_{п2}(q_{02} - q_{23})^2 + A_{23} q_{23}^2$ $\rho g(h_{r5} - h_{r4}) = A_{п4}(q_{14} + q_{54})^2 - A_{п5}(q_{65} - q_{54})^2 + A_{54} q_{54}^2$ $Q_1 = q_{01} - q_{14} > 0$ $Q_2 = q_{02} - q_{23} > 0$ $Q_3 = q_{23} + q_{63} > 0$ $Q_4 = q_{14} + q_{54} > 0$ $Q_5 = q_{65} - q_{54} > 0$ $Q_k = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$

Схема	Исходные уравнения	Уравнения для расчетов
Рис. 2,е	$p_0 = p_{н1} - A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + \rho g(h_{н1} - h_0)$ $p_1 = A_{н1}q_{01}^2 + \rho g(h_{н1} - h_1)$ $p_2 = A_{н2}(q_{02} - q_{23})^2 + \rho g(h_{н2} - h_2)$ $p_3 = A_{н3}(q_{23} - q_{34})^2 + \rho g(h_{н3} - h_3)$ $p_4 = A_{н4}(q_{34} + q_{54})^2 + \rho g(h_{н4} - h_4)$ $p_5 = A_{н5}(q_{65} - q_{54})^2 + \rho g(h_{н5} - h_5)$ $p_6 = p_{н2} - A_{н2}(q_{65} + q_{61})^2 + \rho g(h_{н2} - h_6)$ $p_0 - p_1 = A_{01}q_{01}^2 + \rho g(h_1 - h_0)$ $p_0 - p_2 = A_{02}q_{02}^2 + \rho g(h_2 - h_0)$ $p_2 - p_3 = A_{23}q_{23}^2 + \rho g(h_3 - h_2)$ $p_3 - p_4 = A_{34}q_{34}^2 + \rho g(h_4 - h_3)$ $p_5 - p_4 = A_{54}q_{54}^2 + \rho g(h_4 - h_5)$ $p_6 - p_1 = A_{61}q_{61}^2 + \rho g(h_1 - h_6)$ $p_6 - p_5 = A_{65}q_{65}^2 + \rho g(h_5 - h_6)$	$p_{н1} + \rho g(h_{н1} - h_{г1}) = A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + A_{н1}(q_{01} + q_{61})^2 + A_{01}q_{01}^2$ $p_{н1} + \rho g(h_{н1} - h_{г2}) = A_{н1}(q_{01} + q_{02})^2 + A_{н2}(q_{02} - q_{23})^2 + A_{02}q_{02}^2$ $p_{н2} + \rho g(h_{н2} - h_{г1}) = A_{н2}(q_{65} + q_{61})^2 + A_{н1}(q_{01} + q_{61})^2 + A_{61}q_{61}^2$ $p_{н2} + \rho g(h_{н2} - h_{г5}) = A_{н2}(q_{65} + q_{61})^2 + A_{н5}(q_{65} - q_{54})^2 + A_{65}q_{65}^2$ $\rho g(h_{г3} - h_{г4}) = A_{н4}(q_{34} + q_{54})^2 - A_{н3}(q_{23} - q_{34})^2 + A_{34}q_{34}^2$ $\rho g(h_{г2} - h_{г3}) = A_{н3}(q_{23} - q_{34})^2 - A_{н2}(q_{02} - q_{23})^2 + A_{23}q_{23}^2$ $\rho g(h_{г5} - h_{г4}) = A_{н4}(q_{24} + q_{54})^2 - A_{н5}(q_{65} - q_{54})^2 + A_{54}q_{54}^2$ $Q_1 = q_{01} + q_{61} > 0$ $Q_2 = q_{02} - q_{23} > 0$ $Q_3 = q_{23} - q_{34} > 0$ $Q_4 = q_{34} + q_{54} > 0$ $Q_5 = q_{65} - q_{54} > 0$ $Q_k = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$

Примечание. $h_i, h_{гi}$ — высота i -го узла сети и i -го ПГ.

Таблица 3. Исходные данные для расчета водоотдачи кольцевой сети НППВ (см. рис. 1) при различном числе N задействованных ПГ

N	Расстояние между насосами и ПГ, м	Схема
1		Рис. 2,а: ПГ-1 — тчк. 1
2		Рис. 2,б: ПГ-1 — тчк. 1 ПГ-2 — тчк. 2
3		Рис. 2,в: ПГ-1 — тчк. 1 ПГ-2 — тчк. 2 ПГ-3 — тчк. 3
4		Рис. 2,г: ПГ-1 — тчк. 1 ПГ-2 — тчк. 2 ПГ-3 — тчк. 3 ПГ-16 — тчк. 4
5		Рис. 2,д: ПГ-1 — тчк. 1 ПГ-2 — тчк. 2 ПГ-3 — тчк. 3 ПГ-16 — тчк. 4 ПГ-15 — тчк. 5

веденные в справочнике РТП [3], являются **завышенными**.

Выводы

1. Уточненная оценка водоотдачи кольцевой сети НППВ на основе моделирования расходов из задействованных ПГ показала, что в справочниках РТП могут быть даны завышенные значения. Этим и объясняются проблемы, возникающие из-за недо-

статочности водоснабжения при тушении некоторых крупных пожаров.

2. При составлении ПТП объектов, где задействованы ПГ кольцевых сетей НППВ, целесообразно проводить уточненное моделирование их водоотдачи на основе изложенного подхода.

3. Данный подход может быть положен в основу рекомендуемого приложения к СП 8.13130.

Таблица 4. Результаты расчетных оценок водоотдачи кольцевой сети НППВ при диаметре трубы 150 мм и различных вариантах задействования ПГ

Количество ПГ N	Водоотдача сети Q_k , л/с, при заданном напоре, м вод. ст.								Схема задействования ПГ
	10	20	30	40	50	60	70	80	
1	28	39	48	55	62	68	73	78	Рис. 2,а
2	11	16	20	23	25	28	30	32	Рис. 2,б
	25	36	44	51	57	62	67	72	
	36	52	64	74	82	90	97	104	
3	13	18	23	26	29	32	34	37	Рис. 2,в
	13	19	23	26	30	32	35	37	
	17	24	29	33	37	41	44	47	
	43	61	75	85	96	105	113	121	
4	10	15	18	21	24	26	28	29	Рис. 2,г
	10	15	19	22	24	26	28	30	
	12	16	20	23	26	28	30	32	
	12	16	20	23	26	28	30	32	
	44	62	77	89	100	108	116	123	
5	7	10	12	14	17	17	19	20	Рис. 2,д
	7	10	13	15	17	18	19	20	
	8	12	14	17	20	20	22	23	
	11	15	19	21	26	27	29	31	
	11	15	19	21	26	27	29	31	
	44	62	77	88	106	109	118	125	
По справочнику РТП [3]	55	70	80	95	105	110	130	140	

Примечание. В строках приведены расходы Q_j для каждого из ПГ.

4. В дальнейшем планируется провести моделирование водоотдачи кольцевых сетей НППВ с учетом повреждений различных участков трубопровода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по составлению планов и карточек тушения пожаров : утв. МЧС России 29.09.2010 г. — М., 2010. URL : www.6rsh.ru (дата обращения: 01.09.2014 г.).
2. Иванов Е. Н. Противопожарное водоснабжение. — М. : Стройиздат, 1986.
3. Повзик Я. С. Справочник руководителя тушения пожара. — М. : ЗАО “Спецтехника”, 2004.
4. Таранцев А. А., Пивоваров Н. Ю. Расчетная оценка водоотдачи тупиковых сетей наружного противопожарного водоснабжения // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 73–78.
5. Чугаев Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости). — Изд. 4-е, перераб. и доп. — Л. : Энергоиздат, 1982.
6. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М. : Энергия, 1975.
7. Груданова О. В., Таранцев А. А. Аналитическое описание характеристик совместно работающих насосов // Вестник Санкт-Петербургского института ГПС МЧС России. — 2006. — № 1(12)–2(13). — С. 62–68.
8. Белорусов В. Г., Михайловский А. А., Нечаев А. А., Чернышов С. В. Справочник противопожарного водоснабжения г. Санкт-Петербурга. — СПб. : Управление ГПС ГУВД СПб и ЛО, 2000.

Материал поступил в редакцию 11 сентября 2014 г.

MODELING WATER LOSS OF RING NETWORKS EXTERNAL FIRE WATER SUPPLY

PIVOVAROV N. Yu., Chief of Fire Guard, Main Department of Emercom of Russia in Novosibirsk Region (Oktyabrskaya St., 80, Novosibirsk, 630099, Russian Federation)

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

ABSTRACT

There are presented the problems of ensuring the adequacy of water supply to extinguish large fires on site. On the basis of the hydraulic balance equations, it is possible to determine the cost of the ring with a different number of personnel involved hydrants and taking into account the height differences in the terrain. It is shown that the possibility of solving systems of equations of the hydraulic balance with the use of modern computer systems. A comparison of water loss of the ring of external fire water supply, according to a certain well-known directories and on the basis of computer modeling is performed. It is shown that guides give overestimated values of water loss, which negatively affects to extinguish real fires. It is presented an example of a calculation for a real ring network in Saint Petersburg. There are formulated proposals for objective estimates of water loss in planning fighting fires.

Keywords: system of external fire-prevention water supply; extinguishing of large fires; modeling of water loss; fire hydrant; planning.

REFERENCES

1. Guidelines for the preparation of plans and cards fighting fires. Available at: www.6pch.ru (Accessed 1 September 2014) (in Russian).
2. Ivanov E. N. *Protivopozharnoye snabzheniye* [Fire water]. Moscow, Stroyizdat, 1986.
3. Povzik Ya. S. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Reference head of fire extinguishing]. Moscow, JSC "Spetstekhnika" Publ., 2004.
4. Tarantsev A. A., Pivovarov N. Yu. Raschetnaya otsenka vodootdachi tupikovykh setey naruzhnogo protivopozharnogo vodosnabzheniya [Design estimate of water runoff in deadlock networks of an external fire-prevention water supply system]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 73–78.
5. Chugaev R. R. *Gidravlika (tekhnicheskaya mekhanika zhidkosti)* [Hydraulics (technical fluid mechanics)]. Ed. 4th, revised. and ext. Leningrad, Energoizdat, 1982.
6. Idelchik I. E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook of hydraulic resistance]. Moscow, Energiya Publ., 1975.
7. Grudanova O. V., Tarantsev A. A. Analiticheskoye opisaniye kharakteristik sovместno rabotayushchikh nasosov [Analytical description of the characteristics of pumps working together]. *Vestnik Sankt-Petersburgskogo instituta GPS MChS Rossii — Herald of Saint Petersburg Institute of Emercom of Russia*, 2006, no. 1(12)–2(13), pp. 62–68.
8. Belorусov V. G., Mikhaylovskiy A. A., Nechaev A. A., Chernyshov S. V. *Spravochnik protivopozharnogo vodosnabzheniya g. Sankt-Peterburga* [Directory of fire water supply in Saint Petersburg]. Saint Petersburg, Management GPS Internal Affairs of Saint Petersburg and Leningrad Region Publ., 2000.

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: ICA_kbs@mgsu.ru)

Е. А. ОВСЯННИКОВ, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA_kbs@mgsu.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: ICA_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

ПОЛИДИСПЕРСНАЯ ПЕНА ВЫСОКОЙ КРАТНОСТИ ПРИ ТУШЕНИИ РОЗЛИВОВ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ И ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Представлен генератор пены высокой кратности со спиральным насадком, позволяющий получать пену полидисперсной структуры. Проведены экспериментальные исследования огнетушащей эффективности полидисперсной пены высокой кратности. Показаны преимущества ее использования при тушении как розливов нефтепродуктов, так и резервуаров для их хранения. Проведен оценочный расчет времени тушения нефтепродукта пеной высокой кратности.

Ключевые слова: генератор пены высокой кратности; полидисперсная пена; время тушения.

Пены высокой кратности традиционно используются для тушения пожаров в замкнутых помещениях. Они обладают высокой вязкостью и прочностью структуры, поэтому плохо растекаются по любой поверхности [1]. Чтобы преодолеть этот недостаток, генераторы пены высокой кратности равномерно устанавливаются на кронштейнах по периметру всего помещения или подвешиваются к потолку.

Для придания пене лучшей растекаемости предложено использовать специальные генераторы пены, конструкция которых позволяет получать пену полидисперсной структуры, вязкость которой значительно ниже, чем монодисперсной (рис. 1). Для такой пены характерно большое отклонение размера пузырьков от их средней величины, что резко снижает сдвиговую прочность структуры пены. Это позволяет ей быстро растекаться по поверхности горячей жидкости и покрывать поверхность помещения защитным слоем. При этом пена должна покрывать поверхности выступающих металлических частей, что ускорит охлаждение разогретых при пожаре конструкций и тем самым предотвратит возможность повторного возгорания как в помещении, так и в частично открытом пространстве [2].

Благодаря высокой скорости растекания полидисперсной пены ее можно использовать для тушения пожаров как розливов нефтепродуктов, так и резервуаров для их хранения [3].

Целью данной работы является проведение экспериментальных исследований огнетушащей эффек-

тивности полидисперсной пены высокой кратности. Пену получали из водных растворов углеводородных пенообразователей, приготовленных на питьевой воде, в концентрации, указанной производителем. В качестве горючей жидкости использовали гептан и дизельное топливо.

Схема экспериментальной установки и модельного очага пожара розлива с металлическими перегородками представлена на рис. 2.

Модельный очаг пожара локального разлива имитировали путем комбинирования поддонов с различной площадью, высота бортов которых составляла 15 см (рис. 3). Меняя их расположение относи-



Рис. 1. Генератор пены высокой кратности со спиральным насадком, позволяющий получать пену полидисперсной структуры

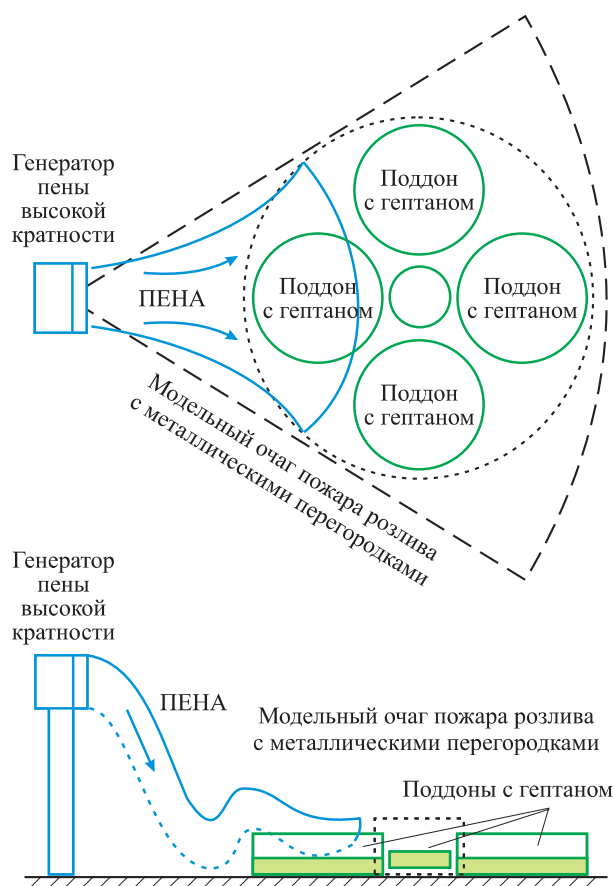


Рис. 2. Схема экспериментальной установки и модельного очага пожара розлива с металлическими перегородками

тельно друг друга, варьировали площадь горения от 3 до 15 м². Расход раствора пенообразователя в экспериментах составлял от 0,5 до 1 л/с, кратность пены — от 400 до 600.

Генератор пены высокой кратности устанавливали на кронштейне на высоте 1,5 м от пола. Дальность подачи струи пены высокой кратности составляла 5–8 м. От места падения пена быстро растекалась в сторону поддонов с горящим гептаном. В зависимости от площади модельного очага время тушения изменялось от 30 до 90 с в зависимости от направления ветра, скорость которого достигала при порывах 6 м/с.

Фрагменты процесса тушения представлены на рис. 4.

При тушении пламени локальных розливов нефтепродуктов пеной высокой кратности сохранялись те же закономерности, что и при применении пены средней кратности. Пены высокой кратности покрывали горящую поверхность слоем 20–25 см, поэтому несмотря на перепад высот между поддонами пена равномерно растекалась по горячей поверхности.

Проведенные эксперименты показали высокую огнетушащую эффективность полидисперсной пены высокой кратности при тушении модельных очагов



Рис. 3. Комплексный очаг, составленный из поддонов с гептаном



Рис. 4. Тушение пеной высокой кратности очага пожара, составленного из поддонов с н-гептаном

пожара розливов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

Толщина тушащего слоя определялась предельным напряжением сдвига и кратностью пены. Чем выше кратность пены, тем выше ее структурная устойчивость и тем больше будет средняя толщина тушащего слоя [4].

Оценочный расчет времени тушения проводили по формуле, полученной для пены средней кратности [2].

Минимальная толщина слоя пены h при естественной гравитации определяется равенством

$$\sigma/(\rho_f g) = 1, \quad (1)$$

где σ — предельное напряжение сдвига, Па;

ρ_f — плотность пены, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с².

Из данного выражения следует:

$$h = \sigma/(\rho_f g). \quad (2)$$

Выражение (2) используется при анализе материального баланса пены в процессе тушения горючей жидкости. Если разрушение пены происходит по всей площади контакта с горящим модельным очагом, то удельная скорость разрушения остается

неизменной в течение всего времени тушения пламени.

Материальный баланс пены, поданной в модельный очаг горения (поддоны с гептаном), может быть представлен уравнением

$$q \Delta \tau = SU \Delta \tau + \Delta S \rho_f (h_o + \Delta h), \quad (3)$$

где q — массовый расход пены, кг/с;

τ — время тушения, с;

S — площадь поверхности, покрытой пеной, м²;

U — удельная скорость контактного разрушения пены, кг/(м²·с);

h_o — высота борта поддонов с горючим, м;

Δh — высота слоя пены над бортом поддона с горючим, м.

Время тушения измерялось с момента подачи пены на модельный розлив, причем в первые секунды пена накапливалась около очага пламени и начинала продвигаться только после того, как слой пены становился выше, чем борта поддонов с гептаном. При анализе процесса тушения время накопления пены перед поддонами не учитывалось.

Решение уравнения (3) для граничных условий $\sigma = 0$ при $S = 0$ имеет вид:

$$\tau = -\frac{(h_o + \Delta h) \rho_o}{KU} \ln \left(1 - \frac{US}{q} \right); \quad (4)$$

$$\rho_f = \rho_o K, \quad (5)$$

где ρ_o — плотность пенообразующего раствора, кг/м³.

При расчете по формуле (4) с использованием средней удельной скорости контактного разрушения пены 0,04 кг/(м²·с), высоты борта 15 см и кратности пены 500 получено время тушения от 40 до 60 с. Площадь поверхности, покрытой пеной в конце процесса тушения пламени, принимали в 1,5 раза больше, чем геометрическая площадь круга, на котором расположен модельный очаг пролива гептана.

В экспериментах установлено, что при тушении пламени пеной высокой кратности также существует оптимальный режим процесса тушения. Повышение интенсивности подачи пены от одного генератора пены ведет к увеличению средней толщины пенного слоя за счет высоты слоя пены над бортом поддона с горючим (Δh в формуле (4)). Для уменьшения величины Δh пену следует подавать из двух или трех точек в зависимости от характера горючей нагрузки и размера защищаемого помещения.

На основании проведенных экспериментов по тушению пламени пеной высокой кратности можно сделать также вывод: если основное действие пены заключается в том, чтобы покрыть площадь горения, то сопутствующим действием является замедление растекания пены и нарастание капиллярного давления в пенных каналах. Чем больше толщина слоя пены, тем выше капиллярное давление в пенных каналах. При достижении определенной высоты происходит самопроизвольное разрушение верхнего слоя пены. Чем выше интенсивность подачи пены, тем быстрее достигается критическое значение капиллярного давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шароварников А. Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. — М. : Знак, 2000. — 445 с.
2. Шароварников А. Ф., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М. : Изд. дом “Калан”, 2002. — 448 с.
3. Шароварников А. Ф., Шароварников С. А. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение. — М. : Пожнаука, 2005. — 335 с.
4. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Основные параметры процесса тушения пламени нефтепродуктов пеной низкой кратности // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 7. — С. 65–73.

Материал поступил в редакцию 22 октября 2014 г.

English

POLYDISPERSE HIGH EXPANSION FOAM WHILE EXTINGUISHING SPILLS OF FLAMMABLE AND COMBUSTIBLE LIQUIDS

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: ICA_kbs@mgsu.ru)

OVSYANNIKOV E. A., Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

SHAROVARNIKOV A. F., Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavl'skoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

ABSTRACT

Demonstrated the using of high expansion foam generator with a configuration allowing to obtain a foam of polydisperse structure. The advantages of a polydisperse foam to extinguish oil, as bottlings and tanks are shown. Proposed a new extinguishing method for the model fire using the experimental setup and the model bottling with metal partitions.

Keywords: high expansion foam generator; polydisperse foam; model bottling with metal partitions.

REFERENCES

1. Sharovarnikov A. F. *Protivopozharnyye peny. Sostav, svoystva, primeneniye* [Fire-fighting foams. Structure, properties, application]. Moscow, Znack Publ., 2000. 445 p.
2. Sharovarnikov A. F., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefi i nefteproduktov* [Fire extinguishing of oil and oil products]. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p.
3. Sharovarnikov A. F., Sharovarnikov S. A. *Penoobrazovateli i peny dlya tusheniya pozharov. Sostav, svoystva, primeneniye* [Foam concentrates and fire extinguishing foams. Structure, properties, application]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2005. 335 p.
4. Korol'chenko D. A., Sharovarnikov A. F. Osnovnyye parametry protsessa tusheniya plameni nefteproduktov penoy nizkoy kratnosti [Main parameters of extinguishing of the oil flame by low expansion foam]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 7, pp. 65–73.



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

**ВОПРОС:**

В канун Нового года практически в каждой школе, квартире и офисе можно увидеть переливающиеся всеми цветами радуги новогодние елки, покрытые самыми разнообразными украшениями. Наряжая елку, многие люди даже не задумываются о том, что она является потенциальным источником пожарной опасности и поэтому к ней должны предъявляться определенные требования по пожарной безопасности.

Какие требования по пожарной безопасности предъявляются к новогодней елке и ее украшениям?

ОТВЕТ:

В России новогодняя елка является неотъемлемым атрибутом празднования Нового года и Рождества с XIX века, корни его уходят в средневековые германские традиции.

Согласно ежегодной статистике в новогодние праздники происходит большое число пожаров, причиной которых зачастую становятся неисправные елочные гирлянды или нарушения в оформлении и установке самой елки. Для предупреждения возникновения таких пожаров в российские нормативные документы внесены определенные требования к оформлению и размещению новогодних елок и украшениям для них.

Так, в Правилах противопожарного режима в Российской Федерации [1], а также в правилах пожарной безопасности для учреждений культуры РФ [2] и спортивных сооружений [3] указывается, что новогодняя елка должна устанавливаться на устойчивом основании (подставке, крестовине, в бочке с песком) и не загромождать выходы из помещения. Расстояние от веток елки до стен и потолка должно быть не менее 1 м.

Запрещается оформлять елку украшениями и игрушками из марли и ваты, не пропитанных огнезащитным составом. Запрещается также использовать в качестве украшений игрушки из легковоспламеняющихся веществ и синтетических материалов, выделяющих при горении высокотоксичные вещества. Кроме того, не допускается применять для иллюминации елки свечи и бенгальские огни или осыпать ее бертолетовой солью*.

Электрические гирлянды и иллюминация, используемые для украшения елок, должны быть выполнены с учетом требований пожарной безопасности к световым гирляндам [4, 5] и иметь сертификат соответствия. На них должна быть нанесена маркировка, содержащая информацию о суммарном номинальном напряжении гирлянды и о типе или об электротехнических характе-

ристиках ламп. В ее конструкции не допускается применять материалы из полиэтилена. Так как елочные гирлянды чаще всего подключаются к сети с напряжением 220 В, то прямой контакт с ними может быть опасным для жизни. Поэтому для обеспечения безопасности напряжение, подаваемое на гирлянду, понижается до безопасного значения, а монтаж иллюминации и гирлянд выполняется, как правило, через понижающий трансформатор с соблюдением Правил устройства электроустановок [6]. Чаще всего на низкой стороне (вторичной обмотке) такого трансформатора напряжение составляет 12 или 24 В. Если в елочной гирлянде применяются лампы накаливания, то они должны быть одного типа по техническим условиям и иметь напряжение не более 26 В каждая [4].

В случае отсутствия понижающего трансформатора на елке могут применяться гирлянды с лампочками мощностью не более 25 Вт [2, 3], а потребляющая мощность гирлянды, предназначенной для помещений, не должна превышать 50 Вт [4]. Номинал потребляемой мощности должен быть указан на коробке или специальной бирке, которая крепится на провод в районе вилки.

Электропровода, питающие лампы елочного освещения, должны иметь многопроволочные гибкие медные жилы сечением не менее 0,5 мм² и подключаться к сети только через штепсельные соединения [2–4].

В современных гирляндах применяются специальные блоки управления, которые позволяют задавать определенный режим свечения ламп. Такие типы гирлянд должны быть оборудованы защитными устройствами от сверхтоков (предохранители). В случае неправильной работы блока управления конструктивные элементы электронных устройств и связанных с ними цепей не должны подвергаться чрезмерному нагреву [4].

Конструкция елочного освещения в процессе эксплуатации должна исключать появление пламени и дыма, размягчения и оплавления входящих в ее состав материалов.

При обнаружении неисправности в елочном освещении (нагрев проводов, повреждение изоляции, искрение и т. п.) иллюминацию следует немедленно обесточить и не включать в сеть до выяснения причин неисправности и их устранения [1–3].

Для снижения степени пожарной опасности желательно пользоваться современными и более долговечными гирляндами со светодиодами. Хотя их стоимость и выше по сравнению с классическими елочными гирляндами с мини- и микролампами, зато потребляемая мощность значительно ниже. Кроме того, светодиоды практически не греются, а значит, с меньшей вероятностью могут стать источником пожара.

P. S.

Авторы рубрики «Вопрос – ответ» желают всем читателям успехов в Новом году и плодотворной работы по обеспечению пожаровзрывобезопасности нашей страны.

* До середины XX века бертолетова соль (хлорат калия) использовалась для украшения елок и елочных игрушек из папье-маше. Она представляет собой бесцветные кристаллы, чувствительные к трению и ударам. Смеси бертолетовой соли с фосфором, серой или органическими соединениями являются взрывоопасными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (ред. от 17.02.2014 г.) : утв. постановлением Правительства РФ от 25.04.2012 г. № 390; введ. 24.02.2014 г. — М. : ЭКСМО, 2014.
2. ВППБ 13-01–94. Правила пожарной безопасности для учреждений культуры Российской Федерации : утв. приказом Министерства культуры РФ от 01.11.1994 г. № 736; введ. 01.01.1995 г. — Н. Новгород : ГИПП «Нижеполиграф», 1995.
3. ППБ 0-148–87. Правила пожарной безопасности для спортивных сооружений : утв. Главным управлением пожарной охраны МВД СССР 25.12.1987 г.; Госкомспортом СССР 11.01.1988 г.; введ. 11.01.1988 г. — М. : Госкомспорт СССР, 1988.
4. НПБ 234–97*. Гирлянды электрические световые. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний (ред.

от 02.10.2001 г.) : утв. приказом ГУГПС МВД России от 21.02.1997 г. № 9; введ. 01.03.1997 г. — М. : ГУГПС МВД России, 1997.

5. ГОСТ ИЕС 60598-2-20–2012. Светильники. Часть 2-20. Частные требования. Световые гирлянды. — Введ. 01.07.2014 г. — М. : Стандартиформ, 2014.

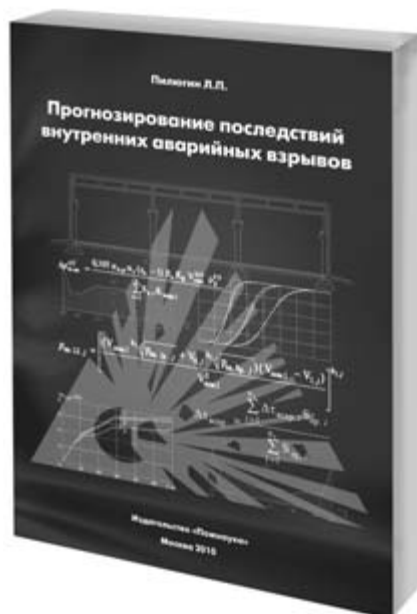
6. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) : утв. Минэнерго России; введ. 01.07.2000 г. — Изд. 7-е. — М. : НЦ ЭНАС, 1999.

*Ответ подготовили сотрудники кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России: канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ **В. Н. ЧЕРКАСОВ**; старший преподаватель **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ** (e-mail: h_a_s@live.ru)*



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

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 общепотребительных, 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., Mullagalin I. Z., Mukhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proyektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniym 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, черно-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 приемлемы.

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 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. Все рецензенты должны являться признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и иметь в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи.

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 2014 г.

А

Абдурегимов И. М., Куприн Г. Н. Нерешенные проблемы пожаровзрывобезопасности энергоресурсов (СУГ и СПГ) как оборотная сторона успехов энергетической стратегии Российской Федерации, № 4, 42

Агапов С. В. см. Борковская В. Г.

Алексеев К. С., Барбин Н. М., Калач А. В., Калач Е. В. Применение дескрипторного метода QSPR для прогнозирования температуры вспышки спиртов, № 1, 21

Алексеев К. С. см. Алексеев С. Г.

Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть IV. Дескрипторный метод расчета, № 5, 18

Алексеев С. Г., Кошелев А. Ю., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XVI. α, ω -Аминоспирты, № 12, 13

Алексеев С. Г., Мавлютова Л. К., Кошелев А. Ю., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XII. Алкилбензолы и диалкилбензолы, № 6, 38

Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть III. Методы расчета через температуру кипения, № 3, 30

Алексеев С. Г. см. Барбин Н. М.

Алексеев С. Г. см. Смирнов В. В.

Алехин Е. М., Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О распределении Эрланга и некоторых его приложениях, № 6, 11

Альменбаев М. М., Асеева Р. М., Серков Б. Б., Силенков А. Б. Влияние лакокрасочных материалов на дымообразующую способность и токсичность продуктов горения древесины, № 3, 23

Андросов А. С., Бегишев И. Р., Беликов А. К., Комраков П. В. Влияние состава атмосферы на самовозгорание пирофорных отложений, образовавшихся в резервуарах с сернистой нефтью, № 11, 61

Антонов Д. В., Волков Р. С., Забелин М. В., Стрижак П. А. Влияние начальной температуры капель воды на характеристики их деформации в газовой среде, № 11, 15

Асеева Р. М. см. Альменбаев М. М.

Афанасьев Н. В., Ваганова Д. В. Опыт функционирования института саморегулирования в области пожарной безопасности в Российской Федерации, № 1, 77

Б

Бабанков В. А. см. Поландов Ю. Х.

Бакиров И. К. Обучение в области пожарной безопасности методом проведения пожарно-технических минимумов, № 4, 7

Бакиров И. К., Халиуллина Д. Х., Кашапова Г. Х. Анализ понятия риска, опасности и безопасности, № 3, 8

Бакиров И. К., Ханова А. М. Правомерность применения Технического регламента о требованиях пожарной безопасности и других нормативных документов в области пожарной безопасности, № 9, 6

Бакиров И. К., Хафизов Ф. Ш., Султанов Р. М. Проблемы применения нормативных документов по пожарной безопасности, № 1, 7

Балакин В. М., Ислентьев С. В., Гарифуллин Д. Ш., Власова Н. М. Огнезащитные составы для древесины на основе азотсодержащих продуктов аминотермического разложения поликарбоната, № 2, 28

Балакин В. М., Селезнев А. М., Белов В. В. Сравнительная оценка огнезащитных свойств вспениваемых покрытий на основе фосфатов аммония и водорастворимых аммонийных солей аминотермического разложения фосфоновых кислот, № 11, 34

Баранов М. И., Рудаков С. В. Пожарная опасность локального нагрева проводов и кабелей электрических сетей при сверхтоках, № 10, 48

Барановский Н. В., Жарикова М. В. Веб-ориентированная геоинформационная система оценки лесной пожарной опасности (на примере Пролетарского лесничества Украины), № 5, 47

Барановский Н. В., Ни А. Э. Перспективы развития математического моделирования процессов теплопереноса в слоях почвы как инструмента дистанционного исследования воздействия лесных пожаров на почвы, № 7, 36

Барбин Н. М., Кобелев А. М., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделирование поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в парах воды, № 10, 38

Барбин Н. М., Сидаш И. А., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделирование поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в атмосфере углекислого газа, № 11, 52

Барбин Н. М., Терентьев Д. И., Пешков А. В., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделирование поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в атмосфере воздуха, № 3, 58

Барбин Н. М., Шавалеев М. Р., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделирование поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в атмосфере азота, № 12, 34

Барбин Н. М. см. Алексеев К. С.

Барбин Н. М. см. Алексеев С. Г.
 Барбин Н. М. см. Корнилов А. А.
 Барбин Н. М. см. Смирнов В. В.
 Барботько М. С. см. Барботько С. Л.
 Барботько С. Л., Барботько М. С., Вольный О. С., Постнов В. И. Влияние длительного теплового воздействия на пожаробезопасность полимерных материалов, № 1, 12
 Барботько С. Л., Барботько М. С., Вольный О. С., Шведкова А. К. Исследование длительных совместных воздействий факторов температуры и влажности на пожаробезопасность стеклопластиков, № 7, 16
 Барботько С. Л. см. Шуркова Е. Н.
 Батманов С. В., Кобелев А. А. Нормативные требования к классификации взрывоопасных зон и взрывопожароопасных категорий при проектировании производственных помещений, № 5, 6
 Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Исследование температуры вспышки бинарных неводных смесей жидкостей с положительным и отрицательным отклонениями от закона Рауля, № 1, 25
 Бегишев И. Р. см. Андросов А. С.
 Беликов А. К. см. Андросов А. С.
 Белов В. В. см. Балакин В. М.
 Болдырев Е. Н. см. Пузач С. В.
 Борковская В. Г., Агапов С. В. Стандарты и требования пожарной безопасности, № 11, 7
 Бородин А. А. см. Корнилов А. А.
 Брушлинский Н. Н., Усманов М. Х., Шимко В. Ю., Карпов В. Л., Курбанов А. Х. Метод защиты от распространения пожаров опасных газов и радионуклидов, № 5, 72
 Брушлинский Н. Н. см. Алехин Е. М.
 Бубнов А. Г., Курочкин В. Ю., Моисеев Ю. Н., Семенов А. Д. Использование показателей риска для выбора аварийно-спасательного оборудования, № 2, 50
 Бузаев Е. В. см. Комаров А. А.
 Бучельников Д. Ю. см. Кокшаров А. В.

В

Ваганова Д. В. см. Афанасьев Н. В.
 Васюков Г. В. см. Комаров А. А.
 Верёвкин В. Н., Марков А. Г. Электрическая прочность диэлектриков и предельные параметры процессов электризации, № 7, 46
 Виноградов А. Г. Методика расчета экранирующих свойств водяных завес, № 1, 45
 Виноградов А. Г. Применение теории затопленных струй к расчету параметров водяных завес, № 5, 76
 Власова Н. М. см. Балакин В. М.
 Волков Р. С., Жданова А. О., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование особенностей изменения формы капель воды при их движении с умеренными скоростями через газовую среду, № 10, 29

Волков Р. С., Забелин М. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние твердых включений в каплях жидкости на интенсивность парообразования в зоне пламени, № 5, 10

Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование влияния начальной температуры распыленной воды на интенсивность ее испарения при движении через пламя, № 3, 12

Волков Р. С. см. Антонов Д. В.

Волкова Л. И. см. Любимов В. Н.

Вольный О. С. см. Барботько С. Л.

Вольный О. С. см. Шуркова Е. Н.

Воробьева Е. П. см. Макашкин С. В.

Г

Гарифуллин Д. Ш. см. Балакин В. М.

Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Теоретическая оценка устойчивости зажигания типичного полимерного материала локальным источником энергии, № 2, 10

Голиков А. Д., Черкасов Е. Ю., Данилов А. И., Сиваков И. А. Предел огнестойкости конструкций чугунных тоннельных обделок метрополитена без огнезащитных покрытий, № 12, 20

Головинский П. А. см. Ситников И. В.

Горбань Ю. И. Пожарные роботы и ствольная пожарная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. V. Пожарная робототехника, № 12, 56

Горбань Ю. И., Синельникова Е. А. Пожарная команда XXI века, № 2, 62

Горбань Ю. И., Синельникова Е. А. Пожарные роботы и ствольная пожарная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. II. Баллистика струй, № 5, 62

Горбань Ю. И., Синельникова Е. А. Пожарные роботы и ствольная пожарная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. IV. Лафетные стволы, № 10, 63

Горбань Ю. И., Синельникова Е. А. Пожарные роботы и ствольная пожарная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. I. Устройства формирования струй, № 4, 62

Горбань Ю. И., Цариченко С. Г., Синельникова Е. А. Пожарные роботы и ствольная пожарная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. III. Пожаротушение, № 8, 57

Гравит М. В. Гармонизация российских и европейских нормативных документов, регламентирующих методы испытаний на огнестойкость строительных конструкций с использованием средств огнезащиты, № 5, 38

Гравит М. В. Распространение результатов испытаний на огнестойкость светопрозрачных ограждающих несущих конструкций, № 11, 42

Гравит М. В. см. Хасанов И. Р.

Громов Н. В. см. Мишуев А. В.

Гундар С. В., Денисов А. Н. Интенсивность подачи воды на тушение кромок низовых лесных пожаров, № 7, 80

Гусак Л. Н. см. Мишуев А. В.

Д

Данилов А. И. см. Голиков А. Д.

Дегаев Е. Н. см. Корольченко Д. А.

Денисов А. Н. см. Гундар С. В.

Дмитриев О. В., Мисников О. С., Попов В. И. Способ получения гидрофобно-модифицированных порошков и методика определения их огнетушащей способности, № 4, 65

До Тхань Тунг см. Пузач С. В.

Дубинин М. П., Жуков В. В. Долго ходим кругами и топчемся на месте (К вопросу о формировании отрасли экономики в области обеспечения пожарной безопасности), № 4, 81

Е

Ермакова Т. Г. см. Любимов В. Н.

Есин В. М., Калмыков С. П. Сравнение методик расчета требуемых параметров вентиляционных систем противодымной защиты многоэтажных зданий, № 6, 47

Ж

Жарикова М. В. см. Барановский Н. В.

Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование испарения пленки воды на поверхности лесного горючего материала, № 6, 18

Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование процессов теплопереноса при подавлении реакции термического разложения лесного горючего материала группой капель воды, № 7, 6

Жданова А. О., Стрижак П. А. Особенности зажигания гелеобразного топлива локальным источником нагрева, № 4, 13

Жданова А. О. см. Волков Р. С.

Животинская Л. О. см. Смирнов В. В.

Жуков В. В. Новое направление в противопожарном нормировании. Чего не видит пожарная наука?, № 9, 80

Жуков В. В. см. Дубинин М. П.

З

Забелин М. В. см. Антонов Д. В.

Забелин М. В. см. Волков Р. С.

Загуменников Р. А. см. Комаров А. А.

Зыков П. И. см. Корнилов А. А.

И

Ислентьев С. В. см. Балакин В. М.

Истратов Р. Н. Исследование возможностей спасения при пожаре немобильных людей из стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений, № 6, 54

К

Казеннов В. В. см. Мишуев А. В.

Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И. Индексы пожарного риска в Российской Федерации, № 5, 56

Кайбичев И. А. см. Кайбичева Е. И.

Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А. Индекс среднего времени свободного горения в Российской Федерации за 2006–2010 годы, № 2, 56

Кайбичева Е. И. см. Кайбичев И. А.

Калач А. В., Сорокина Ю. Н., Черникова Т. В., Чуйков А. М. Дескрипторный метод в прогнозировании пожароопасности органических соединений, № 9, 38

Калач А. В. см. Алексеев К. С.

Калач А. В. см. Сорокина Ю. Н.

Калач Е. В. см. Алексеев К. С.

Калашников С. А. О некоторых положениях статьи Абдурагимов И. М. и Куприна Г. Н. “Нерешенные проблемы пожаровзрывобезопасности энергоресурсов (СУГ и СПГ) как оборотная сторона успехов энергетической стратегии Российской Федерации”, № 10, 84

Калмыков С. П. см. Есин В. М.

Карпов В. Л. см. Брушлинский Н. Н.

Катаева Л. Ю., Постнов А. Д., Лощилов С. А., Масленников Д. А. О влиянии водного барьера на динамику развития лесного пожара в зависимости от рельефа местности, № 1, 30

Кашапова Г. Х. см. Бакиров И. К.

Кипер А. В., Станкевич Т. С. Алгоритмическое обеспечение интеллектуальной системы поддержки принятия решений, предназначенной для руководителя тушения пожара, № 9, 45

Киршев А. А. см. Назаров В. П.

Кобелев А. А. см. Батманов С. В.

Кобелев А. М. см. Барбин Н. М.

Кожевин Д. Ф., Поляков А. С. Единый показатель огнетушащей способности переносных порошковых огнетушителей, № 7, 74

Кожевин Д. Ф., Поляков А. С., Сытдыков М. Р. О практике параметризации переносных порошковых огнетушителей (Аналитический обзор), № 1, 68

Козлова О. В. см. Покровская Е. П.

Козубовский В. Р., Федак М. В. Бытовые комбинированные приборы двойного назначения: извещатели пожарные газовые и газосигнализаторы загазованности помещений, № 9, 73

Кокшаров А. В., Марков В. Ф., Бучельников Д. Ю., Терентьев В. В. Стабилизация пены низкой кратности натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы, № 10, 79

Комаров А. А., Васюков Г. В., Загуменников Р. А., Бузаев Е. В. Взрыв газа на газонаполнительной станции в поселке Чагода. Причины и последствия, № 7, 58

Комаров В. В. см. Мишуев А. В.

Комраков П. В. см. Андросов А. С.

Копытин А. В. см. Ушков В. А.

Корнилов А. А., Бородин А. А., Барбин Н. М., Зыков П. И., Хужаев А. Т. Исследование оптимальных схем подачи инертного газа при флегматизации горизонтальных резервуаров, № 6, 81

Корольченко Д. А., Овсянников Е. А., Шароварников А. Ф. Полидисперсная пена высокой кратности при тушении розливов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, № 12, 76

Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Анализ двойственного механизма тушения пламени, № 12, 59

Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Определение параметров, влияющих на время выброса нефтепродуктов при горении в резервуаре, № 3, 76

Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Основные параметры процесса тушения пламени нефтепродуктов пеной низкой кратности, № 7, 65

Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Особенности тушения пламени высокодисперсными газоаэрозольными системами, № 10, 67

Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Оценка флегматизирующих концентраций газовых огнетушащих составов, № 1, 62

Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение горючих жидкостей высококипящими хладагентами, № 5, 67

Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пламени огнетушащими порошками и аэрозольными составами, № 8, 63

Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пожаров инертными газами в модели помещения с проемами, № 2, 65

Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами, № 11, 84

Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н. Лабораторная методика определения изолирующих свойств пены на поверхности гептана, № 4, 72

Корольченко Д. А. см. Орлов Г. Г.

Корольченко Д. А. см. Шароварников С. А.

Косачев А. А. см. Хасанов И. Р.

Костерин И. В., Присадков В. И. Описание методики сбора исходных данных для определения вероятности эвакуации людей из зданий с многосветными пространствами, № 8, 53

Костюченко Д. В. см. Соколов С. В.

Кошелев А. Ю. см. Алексеев С. Г.

Кузнецов Г. В. см. Волков Р. С.

Кузнецов Г. В. см. Глушков Д. О.

Кузнецов Г. В. см. Жданова А. О.

Кукуева В. В. Квантово-химическое исследование галогенсодержащих углеводородов, проявляющих огнетушащий эффект, № 2, 73

Куприн Г. Н. см. Абдурагимов И. М.

Курбанов А. Х. см. Брушлинский Н. Н.

Курочкин В. Ю. см. Бубнов А. Г.

Л

Лалаян В. М. см. Ушков В. А.

Лебедченко О. С. см. Пузач С. В.

Лощилов С. А. см. Катаева Л. Ю.

Луценко А. Н. см. Шуркова Е. Н.

Любимов В. Н., Скушников А. И., Ермакова Т. Г., Волкова Л. И. Повышение устойчивости противопожарных пен при помощи полимерных добавок различной природы, № 4, 77

Ляпин А. В. см. Орлов Г. Г.

Ляпин А. В. см. Шароварников С. А.

М

Мавлютова Л. К. см. Алексеев С. Г.

Макаркин С. В., Воробьева Е. П. Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления в области обеспечения пожарной безопасности, № 8, 6

Маркеев А. В. см. Серебренников Д. С.

Марков А. Г. см. Верёвкин В. Н.

Марков А. Г. см. Олейников В. Т.

Марков В. Ф. см. Кокшаров А. В.

Маркова Т. С., Таранцев А. А. Проблемы обеспечения безопасности в зоологических парках мегаполисов, № 9, 64

Масленников Д. А. см. Катаева Л. Ю.

Мешман Л. М., Снегирев А. Ю., Танклевский Л. Т., Таранцев А. А. О возможности использования пластиковых труб в спринклерных установках автоматического пожаротушения, № 10, 73

Мисников О. С. см. Дмитриев О. В.

Мишуев А. В., Казеннов В. В., Комаров В. В., Громов Н. В., Гусак Л. Н. Пожаровзрывоопасность автозаправочных станций в городе, № 2, 45

Моисеев Ю. Н. см. Бубнов А. Г.

Монаков В. К. Разработка устройства защиты от дуговых замыканий, № 8, 27

Мочалова Т. А. см. Батов Д. В.

Мурзинов В. Л., Паршин М. В. Моделирование температуры в помещении при наличии открытого пламени в условиях свободной конвекции, № 12, 28

Н

Назаров В. П., Киршев А. А. Повышение эффективности вентиляции резервуаров с нефтепродуктами, № 7, 52

Невзоров Д. И. см. Ушков В. А.

Ни А. Э. см. Барановский Н. В.

О

Овсянников Е. А. см. Корольченко Д. А.

Однолько А. А. см. Ситников И. В.

Олейников В. Т., Марков А. Г. Проблемы разработки и использования геоинформационных систем в подразделениях МЧС России, № 8, 32

Орлов Г. Г., Корольченко Д. А., Ляпин А. В. Оптимизация требований к конструктивным и объемно-планировочным решениям при проектировании зданий и сооружений для взрывоопасных производств, № 11, 67

Ощеповский В. В. Продукты горения пожаров как причина образования озоновой дыры в атмосфере, № 11, 75

П

Павлов В. В. см. Хасанов И. Р.

Парфёненко А. П. Методология моделирования людских потоков и практика программирования их движения при эвакуации, № 12, 46

Паршин М. В. см. Мурзинов В. Л.

Петров А. В. см. Батов Д. В.

Пехотиков А. В. см. Хасанов И. Р.

Пешков А. В. см. Барбин Н. М.

Пивоваров Н. Ю., Таранцев А. А. Моделирование водоотдачи кольцевых сетей наружного противопожарного водопровода, № 12, 69

Покровская Е. П., Покровский А. А., Козлова О. В. Разработка и исследование пожаробезопасной технологии обеспечения повышенной заметности детской одежды, № 4, 34

Покровский А. А. см. Покровская Е. П.

Поландов Ю. Х., Бабанков В. А. Влияние места расположения источника воспламенения в помещении на развитие взрыва газа, № 3, 68

Поландов Ю. Х., Бабанков В. А. Механизм влияния перепускного взрывного клапана на развитие взрыва в газовой многоходовой топке, № 1, 38

Полетаев Н. Л. Расчетно-экспериментальная оценка максимального размера частиц взрывоопасной монодисперсной взрывзвеси, № 9, 15

Поляков А. С. см. Кожевин Д. Ф.

Попов В. И. см. Дмитриев О. В.

Постнов А. Д. см. Катаева Л. Ю.

Постнов В. И. см. Барботько С. Л.

Присадков В. И. см. Костерин И. В.

Пузач С. В., До Тхань Тунг. Влияние высоты стенки дымоудаляющего отверстия на возникновение

“поддува” при дымоудалении с естественным побуждением, № 11, 46

Пузач С. В., До Тхань Тунг. Условия возникновения “поддува” при работе систем дымоудаления с естественным побуждением, № 9, 57

Пузач С. В., Лебедченко О. С., Болдырев Е. Н. Коэффициенты участия водорода в горении и взрыве при ламинарной и турбулентной конвекции на горизонтальной пластине, № 6, 26

Р

Рудаков С. В. см. Баранов М. И.

С

Самошин Д. А. см. Холщевников В. В.

Светушенко С. Г. Исследование информационной системы государственных закупок и ее влияние на пожарную безопасность объектов надзора, № 10, 5

Селезнев А. М. см. Балакин В. М.

Семенов А. Д. см. Бубнов А. Г.

Серебренников Д. С., Худолей Р. Р., Маркеев А. В. Система обеспечения пожарной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли, № 10, 55

Серков Б. Б. см. Альменбаев М. М.

Сиваков И. А. см. Голиков А. Д.

Сивенков А. Б. см. Альменбаев М. М.

Сидаш И. А. см. Барбин Н. М.

Синельникова Е. А. см. Горбань Ю. И.

Ситников И. В., Головинский П. А., Однолько А. А. Интегральная модель динамики пожара при неустановившемся режиме горения толуола, № 2, 34

Скушникова А. И. см. Любимов В. Н.

Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIV. Алкиламины, № 9, 27

Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIII. Тиоспирты, № 8, 15

Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XV. Тиоэфиры, № 11, 24

Смирнов В. В. см. Алексеев С. Г.

Снегирев А. Ю. см. Мешман Л. М.

Соколов С. В., Костюченко Д. В. Эффективность средств пожарной автоматики на пожарах в жилых домах, № 6, 70

Соколов С. В. см. Алехин Е. М.

Сорокина Ю. Н., Черникова Т. В., Калач А. В. Влияние структуры молекулы кетонов на температуру вспышки, № 3, 44

Сорокина Ю. Н. см. Калач А. В.

Станкевич Т. С. см. Кипер А. В.

Стрижак П. А. см. Антонов Д. В.

Стрижак П. А. см. Волков Р. С.

Стрижак П. А. см. Глушков Д. О.
Стрижак П. А. см. Жданова А. О.
Султанов Р. М. см. Бакиров И. К.
Сытдыков М. Р. см. Кожевин Д. Ф.

Т

Танклевский Л. Т. см. Мешман Л. М.
Таранцев А. А. Методика определения числа диспетчеров и линий связи дежурно-диспетчерских служб, № 8, 69
Таранцев А. А. О некоторых положениях статьи “Синтез адаптивного алгоритма управления ликвидацией лесных пожаров”, № 3, 82
Таранцев А. А. см. Маркова Т. С.
Таранцев А. А. см. Мешман Л. М.
Таранцев А. А. см. Пивоваров Н. Ю.
Терентьев В. В. см. Кокшаров А. В.
Терентьев Д. И. см. Барбин Н. М.
Тимошин В. С. Кто защитит пожарную безопасность?, № 2, 81
Томашкова М. Анализ риска пожара в замке Красная Горка, № 6, 64
Трушкин Д. В. Проблемы классификации строительных материалов по пожарной опасности. Часть 2. Сравнительный анализ экспериментальных методов по оценке пожарной опасности строительных материалов, принятых в России и странах Евросоюза. Определение воспламеняемости, дымообразующей способности, способности к распространению пламени по поверхности и токсичности продуктов сгорания строительных материалов, № 6, 31
Трушкин Д. В. Проблемы классификации строительных материалов по пожарной опасности. Часть 2. Сравнительный анализ экспериментальных методов по оценке пожарной опасности строительных материалов, принятых в России и странах Евросоюза. Определение горючести строительных материалов, № 4, 24
Тужиков Е. Н., Тырсин А. Н. Выбор факторов, влияющих на качество обеспечения первичных мер пожарной безопасности, № 2, 5
Тырсин А. Н. см. Тужиков Е. Н.

У

Усанов М. Х. см. Брушлинский Н. Н.
Ушков В. А., Невзоров Д. И., Копытин А. В., Лала-ян В. М. Воспламеняемость и дымообразующая способность полимерных материалов, содержащих производные ферроцена, № 7, 27

Ф

Федак М. В. см. Козубовский В. Р.

Х

Хабибулин Р. Ш. см. Шихалев Д. В.
Халиуллина Д. Х. см. Бакиров И. К.
Ханова А. М. см. Бакиров И. К.
Харламенков А. С. Гармонизация национальных и международных стандартов в области обеспечения пожаровзрывобезопасности объектов, № 12, 5
Хасанов И. Р., Гравит М. В., Косачев А. А., Пехотиков А. В., Павлов В. В. Гармонизация европейских и российских нормативных документов, устанавливающих общие требования к методам испытаний на огнестойкость строительных конструкций и применению температурных режимов, учитывающих реальные условия пожара, № 3, 49
Хафизов Ф. Ш. см. Бакиров И. К.
Холщевников В. В., Самошин Д. А. Проблемы обеспечения пожарной безопасности людей с ограниченными возможностями в зданиях с их массовым пребыванием, № 8, 37
Худoley Р. Р. см. Серебренников Д. С.
Хужаев А. Т. см. Корнилов А. А.

Ц

Цариченко С. Г. см. Горбань Ю. И.

Ч

Черкасов Е. Ю. см. Голиков А. Д.
Черникова Т. В. см. Калач А. В.
Черникова Т. В. см. Сорокина Ю. Н.
Чуйков А. М. см. Калач А. В.

Ш

Шавалеев М. Р. см. Барбин Н. М.
Шароварников А. Ф. см. Корольченко Д. А.
Шароварников С. А., Корольченко Д. А., Ляпин А. В. Тушение многокомпонентных смесевых топлив фторсинтетическими пенообразователями подслоиным способом, № 6, 76
Шведкова А. К. см. Барботько С. Л.
Шимко В. Ю. Использование конструкций на основе водопленочных экранов для повышения пожаровзрывобезопасности объектов хранения и распределения сжиженного природного газа, № 1, 58
Шимко В. Ю. см. Брушлинский Н. Н.
Шихалев Д. В., Хабибулин Р. Ш. Математическая модель определения направлений безопасной эвакуации людей при пожаре, № 4, 51
Шуркова Е. Н., Вольный О. С., Луценко А. Н., Барботько С. Л. Сравнительная оценка пожаробезопасности ПКМ для изготовления конструктивных элементов летательных аппаратов, № 2, 20

ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2014 г.

Фамилии авторов и название статей	Номер журнала	Стр.
НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ		
IV Всероссийская специализированная выставка “Комплексная безопасность”, Россия, г. Ижевск, 18–21 сентября 2014 г.	11	5
Интервью с Юрием Ивановичем ГОРБАНИЕМ, генеральным директором, главным конструктором ЗАО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР” — коллективного члена Национальной академии наук пожарной безопасности	6	6
Постоянно действующий открытый семинар “Пожарная безопасность в строительстве”, 23 апреля 2014 г., г. Москва, Россия	3	7
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ		
Алехин Е. М., Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О распределении Эрланга и некоторых его приложениях	6	11
Бакиров И. К. Обучение в области пожарной безопасности методом проведения пожарно-технических минимумов	4	7
Бакиров И. К., Халиуллина Д. Х., Кашанова Г. Х. Анализ понятия риска, опасности и безопасности	3	8
Бакиров И. К., Ханова А. М. Правомерность применения Технического регламента о требованиях пожарной безопасности и других нормативных документов в области пожарной безопасности	9	6
Бакиров И. К., Хафизов Ф. Ш., Султанов Р. М. Проблемы применения нормативных документов по пожарной безопасности	1	7
Батманов С. В., Кобелев А. А. Нормативные требования к классификации взрывоопасных зон и взрывопожароопасных категорий при проектировании производственных помещений	5	6
Борковская В. Г., Агапов С. В. Стандарты и требования пожарной безопасности	11	7
Макаркин С. В., Воробьева Е. П. Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления в области обеспечения пожарной безопасности	8	6
Светушенко С. Г. Исследование информационной системы государственных закупок и ее влияние на пожарную безопасность объектов надзора	10	5
Тужиков Е. Н., Тырсин А. Н. Выбор факторов, влияющих на качество обеспечения первичных мер пожарной безопасности	2	5
Харламенков А. С. Гармонизация национальных и международных стандартов в области обеспечения пожаровзрывобезопасности объектов.	12	5
ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА		
Антонов Д. В., Волков Р. С., Забелин М. В., Стрижак П. А. Влияние начальной температуры капель воды на характеристики их деформации в газовой среде	11	15
Волков Р. С., Жданова А. О., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование особенностей изменения формы капель воды при их движении с умеренными скоростями через газовую среду	10	29
Волков Р. С., Забелин М. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние твердых включений в каплях жидкости на интенсивность парообразования в зоне пламени	5	10
Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование влияния начальной температуры распыленной воды на интенсивность ее испарения при движении через пламя	3	12
Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Теоретическая оценка устойчивости зажигания типичного полимерного материала локальным источником энергии	2	10
Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование испарения пленки воды на поверхности лесного горючего материала	6	18

Фамилии авторов и название статей	Номер журнала	Стр.
Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование процессов тепломассопереноса при подавлении реакции термического разложения лесного горючего материала группой капель воды	7	6
Жданова А. О., Стрижак П. А. Особенности зажигания гелеобразного топлива локальным источником нагрева	4	13
Полетаев Н. Л. Расчетно-экспериментальная оценка максимального размера частиц взрывоопасной монодисперсной аэрозвеси	9	15
Пузач С. В., Лебедченко О. С., Болдырев Е. Н. Коэффициенты участия водорода в горении и взрыве при ламинарной и турбулентной конвекции на горизонтальной пластине	6	26

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Алексеев К. С., Барбин Н. М., Калач А. В., Калач Е. В. Применение дескрипторного метода QSPR для прогнозирования температуры вспышки спиртов	1	21
Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть IV. Дескрипторный метод расчета	5	18
Алексеев С. Г., Кошелев А. Ю., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XVI. α,ω -Аминоспирты.	12	13
Алексеев С. Г., Мавлютова Л. К., Кошелев А. Ю., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XII. Алкилбензолы и диалкилбензолы	6	38
Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть III. Методы расчета через температуру кипения	3	30
Альменбаев М. М., Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Влияние лакокрасочных материалов на дымообразующую способность и токсичность продуктов горения древесины	3	23
Барботько С. Л., Барботько М. С., Вольный О. С., Постнов В. И. Влияние длительного теплового воздействия на пожаробезопасность полимерных материалов	1	12
Барботько С. Л., Барботько М. С., Вольный О. С., Шведкова А. К. Исследование длительных совместных воздействий факторов температуры и влажности на пожаробезопасность стеклопластиков	7	16
Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Исследование температуры вспышки бинарных неводных смесей жидкостей с положительным и отрицательным отклонениями от закона Рауля	1	25
Калач А. В., Сорокина Ю. Н., Черникова Т. В., Чуйков А. М. Дескрипторный метод в прогнозировании пожароопасности органических соединений	9	38
Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIV. Алкиламины	9	27
Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIII. Тиоспирты	8	15
Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XV. Тиоэфиры	11	24
Сорокина Ю. Н., Черникова Т. В., Калач А. В. Влияние структуры молекулы кетонов на температуру вспышки	3	44
Трушкин Д. В. Проблемы классификации строительных материалов по пожарной опасности. Часть 2. Сравнительный анализ экспериментальных методов по оценке пожарной опасности строительных материалов, принятых в России и странах Евросоюза. Определение воспламеняемости, дымообразующей способности, способности к распространению пламени по поверхности и токсичности продуктов сгорания строительных материалов	6	31
Трушкин Д. В. Проблемы классификации строительных материалов по пожарной опасности. Часть 2. Сравнительный анализ экспериментальных методов по оценке пожарной опасности строительных материалов, принятых в России и странах Евросоюза. Определение горючести строительных материалов	4	24
Ушков В. А., Невзоров Д. И., Копыгин А. В., Лалаян В. М. Воспламеняемость и дымообразующая способность полимерных материалов, содержащих производные ферроцена	7	27

Фамилии авторов и название статей	Номер журнала	Стр.
Шуркова Е. Н., Вольный О. С., Луценко А. Н., Барботько С. Л. Сравнительная оценка пожаро- безопасности ПКМ для изготовления конструктивных элементов летательных аппаратов	2	20
ОГНЕЗАЩИТА		
Балакин В. М., Ислентьев С. В., Гарифуллин Д. Ш., Власова Н. М. Огнезащитные составы для древесины на основе азотсодержащих продуктов аминализа поликарбоната	2	28
Балакин В. М., Селезнев А. М., Белов В. В. Сравнительная оценка огнезащитных свойств вспе- нивающихся покрытий на основе фосфатов аммония и водорастворимых аммонийных солей ами- нометиленфосфоновых кислот	11	34
Гравит М. В. Гармонизация российских и европейских нормативных документов, регламентиру- ющих методы испытаний на огнестойкость строительных конструкций с использованием средств огнезащиты	5	38
ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ		
Голиков А. Д., Черкасов Е. Ю., Данилов А. И., Сиваков И. А. Предел огнестойкости конструк- ций чугунных тоннельных обделок метрополитена без огнезащитных покрытий	12	20
Гравит М. В. Распространение результатов испытаний на огнестойкость светопрозрачных ограж- дающих несущих конструкций	11	42
Хасанов И. Р., Гравит М. В., Косачев А. А., Пехотиков А. В., Павлов В. В. Гармонизация евро- пейских и российских нормативных документов, устанавливающих общие требования к методам испытаний на огнестойкость строительных конструкций и применению температурных режимов, учитывающих реальные условия пожара	3	49
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ		
Барановский Н. В., Ни А. Э. Перспективы развития математического моделирования процессов теплотемпературного переноса в слоях почвы как инструмента дистанционного исследования воздействия лесных пожаров на почвы	7	36
Барбин Н. М., Кобелев А. М., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделирова- ние поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в парах воды . . .	10	38
Барбин Н. М., Сидаш И. А., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделирова- ние поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в атмосфере угле- кислого газа	11	52
Барбин Н. М., Терентьев Д. И., Пешков А. В., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделиро- вание поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в атмосфере воздуха	3	58
Барбин Н. М., Шавалеев М. Р., Терентьев Д. И., Алексеев С. Г. Термодинамическое модели- рование поведения радионуклидов при нагреве (сжигании) радиоактивного графита в атмосфере азота	12	34
Катаева Л. Ю., Постнов А. Д., Лошилов С. А., Масленников Д. А. О влиянии водного барьера на динамику развития лесного пожара в зависимости от рельефа местности	1	30
Кипер А. В., Станкевич Т. С. Алгоритмическое обеспечение интеллектуальной системы под- держки принятия решений, предназначенной для руководителя тушения пожара	9	45
Мурзинов В. Л., Паршин М. В. Моделирование температуры в помещении при наличии откры- того пламени в условиях свободной конвекции	12	28
Пузач С. В., До Тхань Тунг. Влияние высоты стенки дымоудаляющего отверстия на возникно- вление “поддува” при дымоудалении с естественным побуждением	11	46
Пузач С. В., До Тхань Тунг. Условия возникновения “поддува” при работе систем дымоудаления с естественным побуждением	9	57
Ситников И. В., Головинский П. А., Однолько А. А. Интегральная модель динамики пожара при неустановившемся режиме горения толуола	2	34

Фамилии авторов и название статей	Номер журнала	Стр.
-----------------------------------	------------------	------

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Баранов М. И., Рудаков С. В. Пожарная опасность локального нагрева проводов и кабелей электрических сетей при сверхтоках	10	48
Верёвкин В. Н., Марков А. Г. Электрическая прочность диэлектриков и предельные параметры процессов электризации	7	46
Монаков В. К. Разработка устройства защиты от дуговых замыканий	8	27

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

Андросов А. С., Бегишев И. Р., Беликов А. К., Комраков П. В. Влияние состава атмосферы на самовозгорание пирофорных отложений, образовавшихся в резервуарах с сернистой нефтью	11	61
Назаров В. П., Киршев А. А. Повышение эффективности вентиляции резервуаров с нефтепродуктами	7	52
Покровская Е. П., Покровский А. А., Козлова О. В. Разработка и исследование пожаробезопасной технологии обеспечения повышенной заметности детской одежды	4	34
Поландов Ю. Х., Бабанков В. А. Влияние места расположения источника воспламенения в помещении на развитие взрыва газа	3	68
Поландов Ю. Х., Бабанков В. А. Механизм влияния перепускного взрывного клапана на развитие взрыва в газовой многоходовой топке	1	38

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Абдуррагимов И. М., Куприн Г. Н. Нерешенные проблемы пожаровзрывобезопасности энергоресурсов (СУГ и СПГ) как оборотная сторона успехов энергетической стратегии Российской Федерации	4	42
Барановский Н. В., Жарикова М. В. Веб-ориентированная геоинформационная система оценки лесной пожарной опасности (на примере Пролетарского лесничества Украины)	5	47
Есин В. М., Калмыков С. П. Сравнение методик расчета требуемых параметров вентиляционных систем противодымной защиты многоэтажных зданий	6	47
Комаров А. А., Васюков Г. В., Загуменников Р. А., Бузаев Е. В. Взрыв газа на газонаполнительной станции в поселке Чагода. Причины и последствия	7	58
Маркова Т. С., Таранцев А. А. Проблемы обеспечения безопасности в зоологических парках мегаполисов	9	64
Мишуев А. В., Казеннов В. В., Комаров В. В., Громов Н. В., Гусак Л. Н. Пожаровзрывоопасность автозаправочных станций в городе	2	45
Олейников В. Т., Марков А. Г. Проблемы разработки и использования геоинформационных систем в подразделениях МЧС России	8	32
Орлов Г. Г., Корольченко Д. А., Ляпин А. В. Оптимизация требований к конструктивным и объемно-планировочным решениям при проектировании зданий и сооружений для взрывоопасных производств	11	67
Ощеповский В. В. Продукты горения пожаров как причина образования озоновой дыры в атмосфере	11	75
Серебренников Д. С., Худолей Р. Р., Маркеев А. В. Система обеспечения пожарной безопасности на предприятиях нефтегазовой отрасли	10	55

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

Бубнов А. Г., Курочкин В. Ю., Моисеев Ю. Н., Семенов А. Д. Использование показателей риска для выбора аварийно-спасательного оборудования	2	50
Истратов Р. Н. Исследование возможностей спасения при пожаре немобильных людей из стационаров лечебно-профилактических и социальных учреждений	6	54

Фамилии авторов и название статей	Номер журнала	Стр.
Костерин И. В., Присадков В. И. Описание методики сбора исходных данных для определения вероятности эвакуации людей из зданий с многосветными пространствами	8	53
Парфёненко А. П. Методология моделирования людских потоков и практика программирования их движения при эвакуации	12	46
Холщевников В. В., Самошин Д. А. Проблемы обеспечения пожарной безопасности людей с ограниченными возможностями в зданиях с их массовым пребыванием	8	37
Шихалев Д. В., Хабибулин Р. Ш. Математическая модель определения направлений безопасной эвакуации людей при пожаре	4	51

СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И. Индексы пожарного риска в Российской Федерации	5	56
Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А. Индекс среднего времени свободного горения в Российской Федерации за 2006–2010 годы	2	56
Томашкова М. Анализ риска пожара в замке Красная Горка	6	64

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

Горбань Ю. И. Пожарные роботы и ствольная пожарная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. V. Пожарная робототехника	12	56
Горбань Ю. И., Синельникова Е. А. Пожарная команда XXI века	2	62
Горбань Ю. И., Синельникова Е. А. Пожарные роботы и ствольная пожарная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. II. Баллистика струй	5	62
Горбань Ю. И., Синельникова Е. А. Пожарные роботы и ствольная пожарная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. IV. Лафетные стволы	10	63
Горбань Ю. И., Синельникова Е. А. Пожарные роботы и ствольная пожарная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. I. Устройства формирования струй	4	62
Горбань Ю. И., Цариченко С. Г., Синельникова Е. А. Пожарные роботы и ствольная пожарная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. II. Пожаротушение	8	57
Козубовский В. Р., Федак М. В. Бытовые комбинированные приборы двойного назначения: извещатели пожарные газовые и газосигнализаторы загазованности помещений	9	73
Соколов С. В., Костюченко Д. В. Эффективность средств пожарной автоматики на пожарах в жилых домах	6	70

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Брушлинский Н. Н., Усманов М. Х., Шимко В. Ю., Карпов В. Л., Курбанов А. Х. Метод защиты от распространения пожаров опасных газов и радионуклидов	5	72
Виноградов А. Г. Методика расчета экранирующих свойств водяных завес	1	45
Виноградов А. Г. Применение теории затопленных струй к расчету параметров водяных завес	5	76
Гундар С. В., Денисов А. Н. Интенсивность подачи воды на тушение кромки низовых лесных пожаров	7	80
Дмитриев О. В., Мисников О. С., Попов В. И. Способ получения гидрофобно-модифицированных порошков и методика определения их огнетушащей способности	4	65
Кожевин Д. Ф., Поляков А. С. Единый показатель огнетушащей способности переносных порошковых огнетушителей	7	74
Кожевин Д. Ф., Поляков А. С., Сытдыков М. Р. О практике параметризации переносных порошковых огнетушителей (Аналитический обзор)	1	68
Кокшаров А. В., Марков В. Ф., Бучельников Д. Ю., Терентьев В. В. Стабилизация пены низкой кратности натриевой солью карбоксиметилцеллюлозы	10	79
Корнилов А. А., Бородин А. А., Барбин Н. М., Зыков П. И., Хужаев А. Т. Исследование оптимальных схем подачи инертного газа при флегматизации горизонтальных резервуаров	6	81

Фамилии авторов и название статей	Номер журнала	Стр.
Корольченко Д. А., Овсянников Е. А., Шароварников А. Ф. Полидисперсная пена высокой кратности при тушении розливов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей	12	76
Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Анализ двойственного механизма тушения пламени	12	59
Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Определение параметров, влияющих на время выброса нефтепродуктов при горении в резервуаре	3	76
Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Основные параметры процесса тушения пламени нефтепродуктов пеной низкой кратности	7	65
Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Особенности тушения пламени высокодисперсными газоаэрозольными системами	10	67
Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Оценка флегматизирующих концентраций газовых огнетушащих составов	1	62
Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение горючих жидкостей высококипящими хладагентами	5	67
Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пламени огнетушащими порошками и аэрозольными составами	8	63
Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Тушение пожаров инертными газами в модели помещения с проемами	2	65
Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Универсальность механизмов тушения пламени различными огнетушащими веществами	11	84
Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н. Лабораторная методика определения изолирующих свойств пены на поверхности гептана	4	72
Кукуева В. В. Квантово-химическое исследование галогенсодержащих углеводородов, проявляющих огнетушащий эффект	2	73
Любимов В. Н., Скушников А. И., Ермакова Т. Г., Волкова Л. И. Повышение устойчивости противопожарных пен при помощи полимерных добавок различной природы	4	77
Мешман Л. М., Снегирев А. Ю., Танклевский Л. Т., Таранцев А. А. О возможности использования пластиковых труб в спринклерных установках автоматического пожаротушения	10	73
Пивоваров Н. Ю., Таранцев А. А. Моделирование водоотдачи кольцевых сетей наружного противопожарного водопровода	12	69
Шароварников С. А., Корольченко Д. А., Ляпин А. В. Тушение многокомпонентных смесевых топлив фторсинтетическими пенообразователями подслоинным способом	6	76
Шимко В. Ю. Использование конструкций на основе водопленочных экранов для повышения пожаровзрывобезопасности объектов хранения и распределения сжиженного природного газа	1	58
ДИСКУССИИ		
Афанасьев Н. В., Ваганова Д. В. Опыт функционирования института саморегулирования в области пожарной безопасности в Российской Федерации	1	77
Дубинин М. П., Жуков В. В. Долго ходим кругами и топчемся на месте (К вопросу о формировании отрасли экономики в области обеспечения пожарной безопасности)	4	81
Жуков В. В. Новое направление в противопожарном нормировании. Чего не видит пожарная наука?	9	80
Калашников С. А. О некоторых положениях статьи Абдурагимов И. М. и Куприна Г. Н. “Нерешенные проблемы пожаровзрывобезопасности энергоресурсов (СУГ и СПГ) как оборотная сторона успехов энергетической стратегии Российской Федерации”	10	84
Таранцев А. А. Методика определения числа диспетчеров и линий связи дежурно-диспетчерских служб	8	69
Таранцев А. А. О некоторых положениях статьи “Синтез адаптивного алгоритма управления ликвидацией лесных пожаров”	3	82
Тимошин В. С. Кто защитит пожарную безопасность?	2	81
ВОПРОС – ОТВЕТ	1–12	

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 1-е полугодие 2015 г., а также годовую подписку.



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал

**ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

КУПОН '2015

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2015 г.)	5200		
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (годовая подписка)	10400		

- ☐ 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”



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Московский государственный
строительный университет

Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.



Научно-исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ строительных материалов;
- ♦ строительных конструкций;
- ♦ огнезащитных составов;
- ♦ кабельных изделий;
- ♦ пенообразователей;
- ♦ фасадных систем.

Контакты:

Тел.: (495) 662-69-70

e-mail: ikbs@mgsu.ru

www.ikbs-mgsu.ru