

7-2015

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



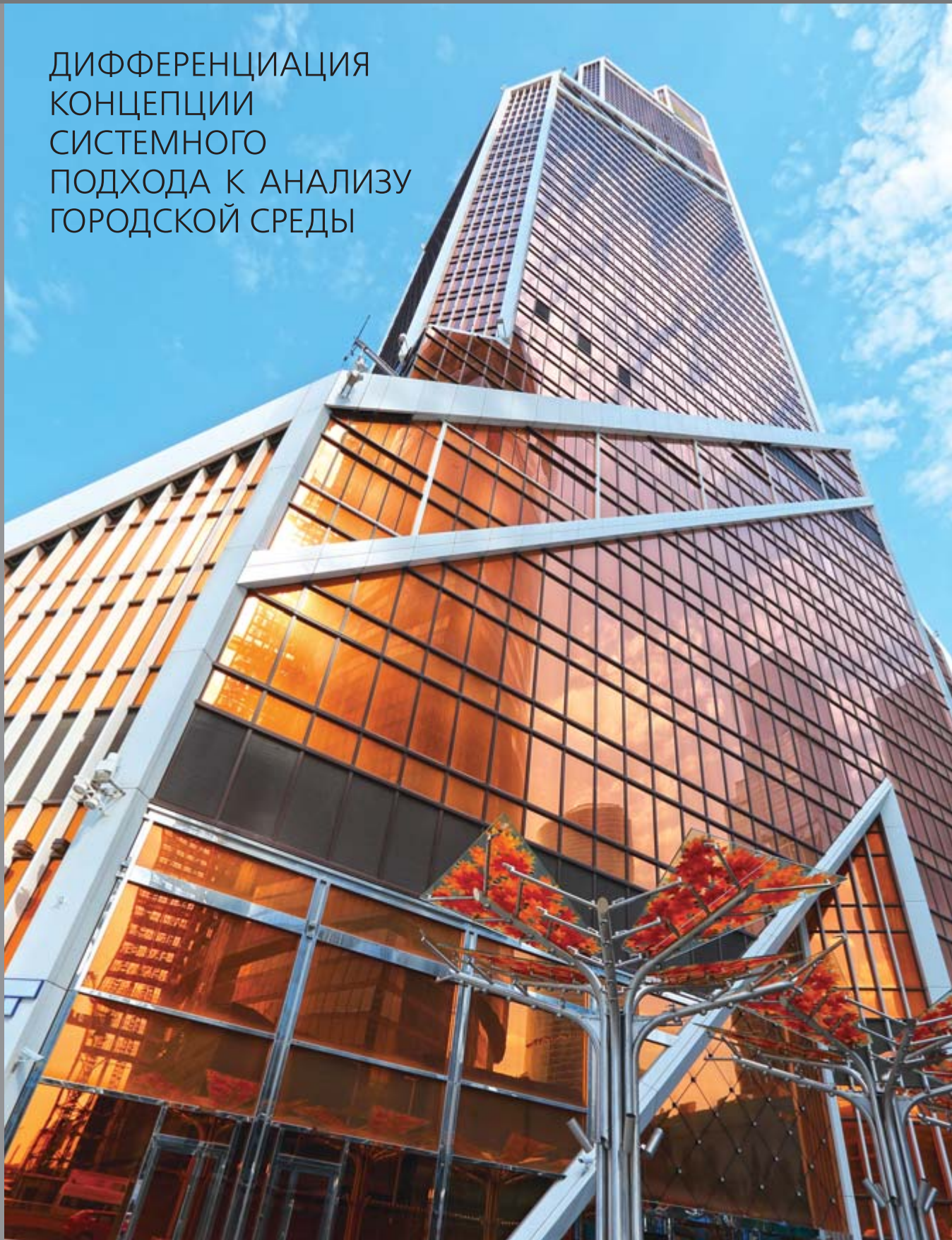
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ
КОНЦЕПЦИИ
СИСТЕМОГО
ПОДХОДА К АНАЛИЗУ
ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ





СибБезопасность

Международная выставка «Охрана и пожарная безопасность»

23 – 25 сентября 2015

Россия, Новосибирск

Место проведения: МВК «Новосибирск Экспоцентр»

Получите электронный билет на сайте

www.sips-siberia.ru

Генеральный
информационный
партнер



Генеральный
Интернет-партнер



Стратегический
информационный
партнер



РЕКЛАМА



ИТЕ Сибирь

E-mail: sips@sibfair.ru

Телефон: (383) 363-00-63, 363-00-36

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

ВАГАНОВА Д. В., ЕГОРОВА Ю. А.
О негосударственной сфере обеспечения
пожарной безопасности

5

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

VAGANOVA D. V., EGOROVA Yu. A.
On the non-state field
of fire safety

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

ВЫСОКОМОРНАЯ О. В., ПИСКУНОВ М. В.,
СТРИЖАК П. А., ЩЕРБИННИНА А. А.
Влияние показателя поглощения тушащей жидкости
на интенсивность кипения и испарения
неоднородной капли в пламени

9

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

VYSOKOMORNAYA O. V., PISKUNOV M. V.,
STRIZHAK P. A., SHCHERBININA A. A.
Influence of extinguishing liquid absorption coefficient
on intensity of boiling and evaporation of heterogeneous
droplet in a flame

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

АЛЕКСЕЕВ С. Г., КОШЕЛЕВ А. Ю.,
БАРБИН Н. М., СПИРИДОНОВ М. А.
Связь показателей пожарной опасности
с химическим строением. XIX. Нитроацетаты

17

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

ALEXEEV S. G., KOSHELEV A. Yu.,
BARBIN N. M., SPIRIDONOV M. A.
Correlation of fire hazard characteristics
with chemical structure. XIX. Nitroacetates

БЕЗЗАПОННАЯ О. В., АКУЛОВ А. Ю.,
МОКРОУСОВА О. А., КАЙБИЧЕВ И. А.,
ХАБИБУЛЛИНА Н. В., ЖИВОТИНСКАЯ Л. О.
Температура вспышки бинарных смешанных
растворителей и влияние на нее образования
межмолекулярных водородных связей

28

BEZZAPONNAYA O. V., AKULOV A. Yu.,
MOKROUSOVA O. A., KAYBICHEV I. A.,
KHABIBULLINA N. V., ZHIVOTINSKAYA L. O.
Flash point of binary mixed solvents
and effect on its formation intermolecular
hydrogen bonds

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ГЕТАЛО Д. П.
Противопожарные шторы (обзор). Часть 2

35

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

KOROLCHENKO A. Ya., GETALO D. P.
Fire shields (review). Part 2

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ХОЛЩЕВНИКОВ В. В.
Дифференциация концепции системного подхода
к анализу городской среды

44

FIRE SAFETY OF PEOPLE

KOROLCHENKO D. A., KHOLSHCHEVNIKOV V. V.
Differentiation of the concept of system approach
to the urban environment analysis

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

ГРИШИН А. М., ЗИМА В. П., КАСЫМОВ Д. П.
Применение взрывчатых веществ в устройствах
локализации и тушения природных пожаров

52

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

GRISHIN A. M., ZIMA V. P., KASYMOV D. P.
Using explosive materials in devices of localization
and extinguishing of wildland fires

ЗАХМАТОВ В. Д.
Распыление мелкодисперсного огнетушащего
порошка и воды выстрелом из стволов или залпом
из многоствольных модулей

61

ZAKHMATOV V. D.
Pulse pulverization of thin-dispersed extinguishing
powder and water by shoot or volley
out of multi-barrels modules

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

ТИМОШИН В. С.
Пожарная безопасность в строительстве.
Реформы продолжаются, проблемы остаются

71

TIMOSHIN V. S.
Fire safety in construction.
Reforms continue, but problems still remain

ВОПРОС – ОТВЕТ

76

QUESTION – ANSWER

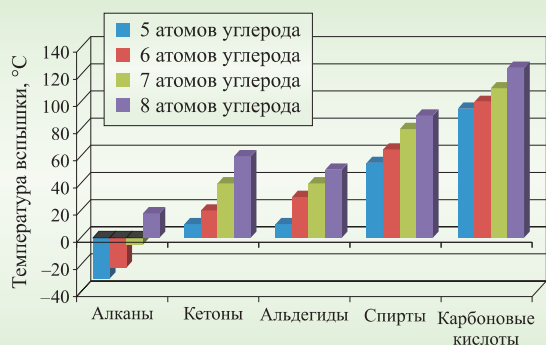
Журнал издается с 1992 г., периодичность выхода – 12 номеров в год.

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

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory". Переводные версии статей журнала входят в Международный реферативный журнал "Chemical Abstracts". Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" только по согласованию с редакцией. При цитировании ссылка обязательна. Авторы и рекламодатели несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов опубликованных материалов.



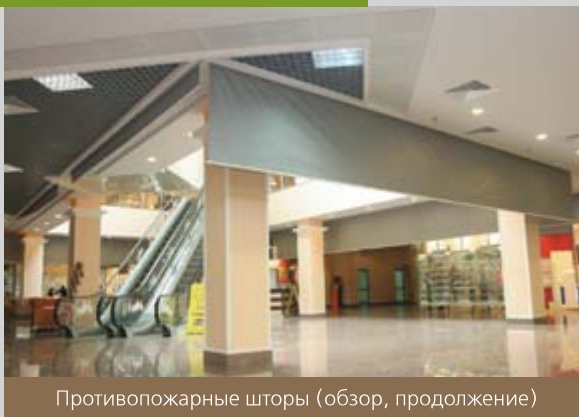
О негосударственной сфере обеспечения ПБ



Свойства бинарных смешанных растворителей

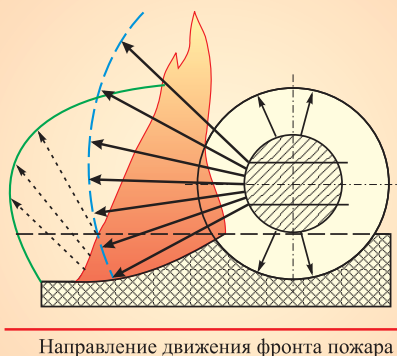
Стр. 5

Стр. 28



Противопожарные шторы (обзор, продолжение)

Стр. 35



Направление движения фронта пожара

Применение взрывчатых веществ при пожаротушении

Стр. 52

Стр. 61



Распыление огнетушащего порошка и воды

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

Учредитель —

ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

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

Адрес редакции:

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

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 43.

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

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

Подписано в печать 15.07.2015. Выход в свет 25.07.2015.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 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 **Korolchenko A. Ya.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

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

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia.

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

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

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

"Pozharovzryvobezopasnost" ("Fire and Explosion Safety") is included in List of periodical scientific and technical publication of the Russian Federation, what are recommended for publishing the main results of competitors for doctoral degree by VAK, in Abstracting Journal 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 15.07.2015

Date of publication 25.07.2015

Format is 60x84 1/8

Printing is 2000 copies

Chalk-overlay mat paper

Offset printing

Chairman of Editorial Board:

Korolchenko A. Ya.,

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

Deputy Chairman of Editorial Board:

Molkov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

Editorial Board:

Barbin N. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Brushlinskiy N. N.,

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

Korolchenko D. A.,

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

Mishuev A. V.,

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

Puzach S. V.,

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

Roytman V. M.,

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

Serkov B. B.,

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

Tamrazyan A. G.,

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

Topolskiy N. G.,

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

Kholshchevnikov V. V.,

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

Shebeko Yu. N.,

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

Shields T. J.,

Professor (Great Britain)

О НЕГОСУДАРСТВЕННОЙ СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



20 мая 2015 г. на площадке Общественной палаты РФ состоялся I Всероссийский Съезд некоммерческих организаций, основанных на членстве лиц, осуществляющих деятельность в области обеспечения пожарной безопасности.



Участники Съезда констатировали, что в настоящее время в нашей стране сформировались две системы обеспечения пожарной безопасности — государственная (Государственная противопожарная служба) и негосударственная (Негосударственная сфера пожарной безопасности (НСПБ)). Было отмечено, что обе системы должны работать в тесном взаимодействии, на принципах добровольности и взаимной выгоды. Однако на практике такого взаимодействия не достигнуто. Напротив, наблюдается тенденция превратить эти системы не во взаимодополняющие, а в альтернативные, что влечет за собой взаимное непонимание и сложности в отношениях.

Ключевую позицию услуг в негосударственной области обеспечения пожарной безопасности в настоящее время занимают *коммерческие организации, выполняющие работы по проектированию, монтажу и ремонту средств обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений*. Этот субъект рынка сегодня насчитывает более 30 тысяч организаций.

Данные организации осуществляют свою деятельность, как правило, на основании лицензии. При этом они сталкиваются с различными трудностями, в том числе с избыточными административными и финансовыми нагрузками. К ним относятся: наличие дублирующих норм в отдельных сегментах рынка; высокие затраты на приобретение оборудования и контрольно-измерительных приборов для получения лицензии, на метрологическое обеспечение и обучение персонала; отсутствие перечня оборудования для выполнения работ по оказанию услуг и требований к нему, а также отсутствие конкретики в требованиях к соискателю лицензии.

Вторым субъектом негосударственной сферы пожарной безопасности являются *коммерческие организации и физические лица, оказывающие экспертные услуги в области пожарной безопасности*. В их число входят органы по сертификации и испытательные лаборатории.

Указанные в ст. 24 Федерального закона от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» «другие работы и услуги» представляют собой отдельный сегмент рынка по обеспечению пожарной безопасности. Данные виды работ, в частности, выполняют субъекты предпринимательской деятельности, осуществляющие оценку соответствия объекта защиты (продукции) требованиям пожарной безопасности в соответствии с ч. 1 ст. 145 Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». К ним относятся:

- организации, проводящие независимую оценку пожарного риска (аудит пожарной безопасности);
- органы по сертификации пожарно-технической продукции, систем и элементов противопожарной защиты;
- испытательные лаборатории.

Согласно имеющимся данным сегодня на рынке задействовано более 800 организаций и более 2500 экспертов, оказывающих экспертные услуги в области оценки соответствия объектов защиты (продукции) требованиям пожарной безопасности.

Особого внимания заслуживает такой вид деятельности, как независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности).

В соответствии с постановлением Правительства от 07.04.2009 г. № 304 «Об утверждении правил оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем независимой оценки пожарного риска» порядок получения экспертной организацией добровольной аккредитации устанавливается МЧС России. В настоящее время в нормативно-правовых актах отсутствует четкая регламентация контроля за деятельностью таких организаций, что приводит к появлению недобросовестных исполнителей на рынке оказания работ и услуг в области пожарной безопасности и, как следствие, дискредитирует институт независимой оценки пожарного риска. Перечисленные выше проблемы подталкивают как коммерческие организации, так и физических лиц к объединению в рамках некоммерческих организаций с дальнейшим получением статуса саморегулируемых организаций (СРО).

В настоящее время на территории нашей страны в сфере обеспечения пожарной безопасности заре-

гистрировано более 110 некоммерческих организаций (3 из них объединяют экспертов), 37 из которых имеют статус саморегулируемых.

Что сегодня дают субъектам профессиональной и предпринимательской деятельности саморегулируемые объединения?

- Прежде всего это подтверждение компетентности членов на основе разработанных и признанных стандартов профессиональной и предпринимательской деятельности.
- Представление и защита интересов сообщества (членов СРО) в органах власти РФ, судах, на предприятиях и в иных организациях.
- Оказание юридических, консультационных услуг и иное информационное сопровождение.
- Организация профессионального обучения и аттестация работников — членов СРО; организация сертификации произведенных членами СРО товаров, работ и услуг.
- Включение руководителей СРО в состав советов, комиссий, рабочих групп и т. п. при органах исполнительной власти субъектов (в том числе при территориальных органах МЧС РФ, губернаторах и т. д.).
- Льготные условия кредитования, страхования.
- Реализация положений ч. 4 ст. 7 Федерального закона от 26.12.2008 г. № 294-ФЗ “О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля”.

Так, в соответствии с ч. 10 ст. 9 указанного закона плановая проверка членов саморегулируемой организации проводится в отношении не более 10 % общего числа членов СРО и не менее двух членов СРО в соответствии с ежегодным планом проведения плановых проверок, если иное не установлено федеральными законами.

При проведении внеплановой выездной проверки членов саморегулируемой организации органы контроля (надзора) обязаны уведомить СРО о проведении внеплановой выездной проверки в целях обеспечения возможности участия или присутствия представителя СРО при ее проведении. В настоящий момент прорабатываются механизмы реализации этого положения на практике.

В целях соблюдения общественных интересов СРО, обеспечения взаимодействия их с органами власти всех уровней, с потребителями продукции услуг и работ в области обеспечения пожарной безопасности, координации деятельности и защиты прав членов СРО в настоящий момент происходит объединение усилий некоммерческих и саморегулируемых организаций в области пожарной безопасности. Посредством этого достигается главная цель саморегулирования — обеспечение безопасного и качественного оказания услуг и работ в области пожарной безопасности.

Благодаря саморегулированию в области пожарной безопасности:

- сформирована система защиты третьих лиц от причинения вреда вследствие недостатка работ и услуг;
- развивается третейское судопроизводство;
- функционирует система защиты членов СРО;
- улучшается качество выполнения работ посредством соблюдения стандартов СРО, сертификации работ и повышения квалификации специалистов;
- рынок работ и услуг в области пожарной безопасности становится более прозрачным, стандартизированным и регулируемым;
- развивается взаимозависимая координация между заказчиками и подрядчиками;
- функционирует единая система требований к выдаче свидетельств СРО о допуске к работам и услугам в области пожарной безопасности.

Стоит отметить, что со стороны бизнес-сообщества созданы все условия для должного развития отрасли: сформированы соответствующие институты, обеспечены условия для их функционирования, выработан инструментарий. На данный момент руководством страны утвержден курс передачи государством ряда функций по регулированию в сфере экономики профессиональным объединениям. По нашему мнению, бизнес-сообщество в сфере обеспечения пожарной безопасности созрело для того, чтобы принять на себя часть регулятивных функций.

Вместе с тем, несмотря на положительные показатели и достижения, остаются проблемы, связанные с несовершенством рынка. Наблюдается незаинтересованность предпринимателей в производстве общественных благ, особенность которых состоит в том, что ими должны пользоваться все, но не все обязаны платить. Проще говоря, на рынке присутствует большое количество недобросовестных организаций, экспертов и потребителей услуг.

Сегодня перспектива развития саморегулирования в области пожарной безопасности во многом зависит от принятия Государственной Думой Российской Федерации проекта Федерального закона № 305620-5 “О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам деятельности саморегулируемых организаций в области пожарной безопасности”.

Возникает закономерный вопрос: почему такой закон до сих пор не принят? Это можно объяснить следующим:

- прежде всего недоверием государства к бизнес-сообществу, сомнением в том, что оно само может собой управлять;
- отсутствием принятой Концепции развития механизмов саморегулирования, в связи с чем в ГД РФ законы, связанные с саморегулированием, приостанавливаются на этапе рассмотрения;
- пересечением со строительной отраслью других видов работ и, соответственно, иных интересов, а отсюда необходимостью наличия допуска и лицензии одновременно.

В настоящее время вопрос о принятии закона стоит очень остро. Это связано с сегодняшними “вызовами” негосударственной сфере пожарной безопасности, общей экономической ситуацией в мире в целом и на российском рынке в частности, а также с “трехлетними” каникулами.

С 1 января 2016 г. будут введены трехлетние “надзорные каникулы” для предприятий, которые в течение 3 лет не имели серьезных нарушений установленных требований к ведению деятельности. Все требования к конкретным видам деятельности будут упорядочены, систематизированы и размещены в открытом доступе. Это позволит определить исчерпывающий набор требований, который будет предоставляться предпринимателям, занимающимся наиболее распространенными видами деятельности.

Кроме того, предпринимаются попытки вытеснения из малоэтажного строительства лицензиатов путем внесения в приказ Минрегионразвития от 30.12.2009 г. № 624 “Об утверждении Перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства” изменений, направленных на обязательное получение допусков от строительных СРО.

В настоящее время на ситуацию оказывает влияние наличие на рынке недобросовестных субъектов предпринимательской деятельности и усиление роли ее нового субъекта — ФГПС России.

За период с марта по май 2015 г. были опубликованы следующие проекты нормативно-правовых актов МЧС России:

1) проект приказа “О внесении изменений в приложение № 1 к приказу МЧС России от 01.10.2004 г. № 458”, в котором на начальника регионального центра МЧС России возлагается персональная ответственность за организацию приносящей доход деятельности в региональном центре МЧС России;

2) ведомственный приказ “Проект приказа МЧС России “О внесении изменений в приложения к приказу МЧС России от 06.08.2004 г. № 372”, устанавливающий аналогичные обязанности для главных управлений МЧС России;

3) в п. 11 ст. 2 законопроекта № 763980-6 “О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам обеспечения пожарной безопасности, подготовки населения в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций” предлагается изложить в новой редакции

ст. 24 Федерального закона № 69-ФЗ, дополнив и расширив перечень работ и услуг, осуществляемых в области пожарной безопасности, с указанием на их выполнение “индивидуальными предпринимателями и организациями, имеющими специальное разрешение на их выполнение (оказание)”. Последний абзац дополняется словами: “а доходы иных подразделений пожарной охраны поступают в их самостоятельное распоряжение”.

В законопроекте № 763980-6 не уточнено, о каких иных подразделениях пожарной охраны идет речь, а также какие виды работ и услуг из указанного перечня они могут осуществлять на договорной основе.

На основании изложенного у бизнес-сообщества создается впечатление, что на рынке появляется новый субъект предпринимательской деятельности в лице Федеральной государственной противопожарной службы в сегменте рынка, где присутствуют субъекты малого и среднего бизнеса, который составит им серьезную конкуренцию.

МЧС России становится субъектом предпринимательской деятельности, и, если государство считает, что это правильно, нам придется жить по этим законам до тех пор, пока бизнес-сообщество не проявит интерес к перечисленным процессам и не вмешается в регулирование собственного вида деятельности.

Выводы

Подводя итог вышесказанному, можно констатировать, что пожарная безопасность является составной частью негосударственной сферы безопасности. В связи с этим необходимо разработать “Концепцию формирования и устойчивого развития негосударственной сферы пожарной безопасности”.

Необходимо также четко разделить с государством сферы ответственности в области обеспечения пожарной безопасности (т. е. определить, кто и чем должен заниматься, за что отвечать) и позволить государству переложить на профессиональные объединения регулятивные функции.

Одна из важных целей — создать равные условия для среднего, малого и микробизнеса, уравнивая в правах представителей строительных и пожарных СРО в области обеспечения пожарной безопасности.

В конечном счете необходимо перейти на законодательном уровне к “истинному” обязательному саморегулированию в области пожарной безопасности с целью консолидации всех участников негосударственной сферы пожарной безопасности и вытеснения с рынка услуг недобросовестных субъектов.

© Д. В. ВАГАНОВА — руководитель Пресс-службы,

© Ю. А. ЕГОРОВА — юрист,

Национальный союз организаций в области обеспечения пожарной безопасности (НСОПБ)

(Россия, 115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, 4, к “А”,

e-mail: vaganova@nsopb.ru)

Поддержка проекта: Уральский региональный центр МЧС России

РЕКЛАМА

STOPFIRE 2015

Дата проведения:
13 - 15 октября 2015 г.

**II Выставка технологий,
товаров и услуг
для пожарной безопасности**

**Международный выставочный центр
«Екатеринбург-ЭКСПО»**
Бульвар Экспо, 2

Приглашаем к участию!

Организатор:

 **СОЮЗПРОМЭКСПО**
(343) 272-32-35
<http://stopfire.souzpromexpo.ru/>

Соорганизаторы:

 **БИЗОН** ОБЪЕДИНЕНИЕ
ВЫСТАВОЧНЫХ
КОМПАНИЙ

Медиапартнеры:

 **ЮМ**  **112** ЕДИНАЯ СЛУЖБА
СПАСЕНИЯ  **ALL**
SECURITY
info

 **SOVA**
охранное предприятие

Генеральный
интернет партнер:
 **SecAndSafety.ru**

Генеральный
информационный партнер:
 **SEC.RU** КОРОТКИЙ ПУТЬ
К ИНФОРМАЦИИ

Генеральный
партнер проекта:
RUBEZH
Информационно-аналитический журнал

01.RU **TexСовет**

О. В. ВЫСОКОМОРНАЯ, инженер-исследователь кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: vysokomornaja@tpu.ru)

М. В. ПИСКУНОВ, аспирант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: piskunovmv@tpu.ru)

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

А. А. ЩЕРБИНИНА, аспирант, инженер кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, Энергетический институт, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: syasherb@tpu.ru)

УДК 536.4

ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ТУШАЩЕЙ ЖИДКОСТИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ КИПЕНИЯ И ИСПАРЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ КАПЛИ В ПЛАМЕНИ

Проведены численные и экспериментальные исследования макроскопических закономерностей процесса теплопереноса при нагреве, кипении и испарении капли воды с твердым включением в пламенной зоне горения. Численно определены условия реализации режима “взрывного” парообразования на внутренней границе неоднородной капли (в зоне контакта твердого включения с жидкостью). Экспериментально зафиксированы последовательные стадии исследуемого процесса. С использованием разработанной модели проанализировано влияние показателя поглощения энергии излучения пленкой воды в неоднородной капле на характерное время (период) с момента начала нагрева до реализации режима “взрывного” парообразования. Показана необходимость учета показателя поглощения излучения водой при выборе характерных размеров неоднородных капель тушащего состава.

Ключевые слова: неоднородная капля воды; твердое включение; пламя; испарение; “взрывное” парообразование; показатель поглощения.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.9-16

Введение

Непрерывное развитие противопожарных техники и технологий связано с возрастающими требованиями по безопасности, традиционно большими потерями при пожарах и возгораниях, а также со стремительным прогрессом науки и техники. В настоящее время насчитываются десятки способов тушения пожаров, применение которых определяется спецификой возгорания [1]. Разные технологии пожаротушения, как правило, подразумевают использование различных по составу тушащих сред [2–5]. По принципу воздействия на очаг возгорания огнетушащие вещества (ОТВ) можно разделить на охлаждающие, разбавляющие, изолирующие и ингибирующие [1–5]. При этом тушащие составы обычно сочетают в себе несколько из указанных видов воздействия на пожар.

Несмотря на разнообразие методов ликвидации возгораний наиболее часто для тушения применяется вода, что обусловлено многими объективными и субъективными причинами [3]. К наиболее перспективным методам пожаротушения с использованием воды в качестве тушащей среды можно отнести технологии, связанные с распылением воды и формированием эмульсий на ее основе [3, 6–8]. Необходимо отметить, что в случае применения тонкораспыленной воды ликвидация пламени происходит в основном за счет снижения в зоне горения температуры и концентрации вступающих в химическую реакцию компонентов посредством реализации фазового перехода. В связи с этим эффективность тушения пожара с помощью тонкораспыленной воды во многом зависит от полноты ее испарения.

В качестве одного из методов интенсификации фазового перехода при взаимодействии капельных потоков воды с высокотемпературными газовыми средами может рассматриваться введение в капли неоднородностей в виде твердых мелкодисперсных частиц. В работах [9–11] представлены результаты экспериментов по нагреву неоднородных капель воды с твердыми углеродистыми и алюминиевыми включениями. Из них следует, что прогрев капель воды с твердыми примесями происходит более интенсивно, чем капель без примесей. Полученные результаты [9–11] могут объясняться тем, что твердые частицы, находящиеся в капле, аккумулируют энергию, поступающую от высокотемпературных газов через пленку воды, и создают, таким образом, дополнительные внутренние очаги нагрева. Интенсивность нагрева твердых частиц напрямую зависит от количества энергии, проводимой жидкостью (в том числе за счет ее оптических свойств) к поверхности твердых включений.

Известно [12], что физические (в том числе оптические) свойства воды меняются в широком диапазоне. В связи с этим представляют интерес исследования по нагреву, кипению и испарению неоднородных капель воды с различными оптическими свойствами.

Цель работы — проведение численных и экспериментальных исследований эндотермических фазовых превращений в капле воды с твердым включением в высокотемпературной газовой среде, а также определение масштабов влияния оптических свойств воды на интенсивность процессов теплопереноса при испарении неоднородной капли.

Методы проведения исследований

Схема области численного решения задачи представлена на рис. 1. Предполагалось, что неоднородная капля воды с внешним радиусом R_2 (м) и радиусом графитового включения R_1 (м) находится в высокотемпературной газовой среде с $T_f > 800$ К. Посредством тепломассообмена в системе происходит прогрев пленки воды с внешней границы капли. При этом часть энергии за счет пропускных оптических свойств воды и кондуктивного переноса тепла

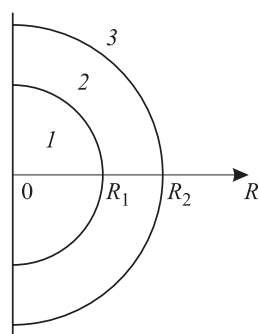


Рис. 1. Схема области решения: 1 — твердое включение; 2 — вода; 3 — высокотемпературная газовая среда

подводится через слой воды к твердому включению (в глубине капли). Частица, поглощая энергию, разогревается и создает тем самым дополнительный источник нагрева в центре капли. При достижении условий реализации фазового перехода ($T \approx 370$ К) на внутренней границе возникают локальные очаги парообразования. При дальнейшем повышении температуры и давления пара в зоне контакта твердого включения с жидкостью может произойти разрыв неоднородной капли (“взрывное” парообразование).

При постановке задачи были приняты следующие допущения, не накладывающие существенных ограничений на результаты численных исследований:

- 1) не учитывается процесс образования парового слоя в зоне контакта частицы с пленкой воды (при решении задачи теплопереноса с учетом тепловых эффектов эндотермических фазовых превращений);
- 2) учитывается уменьшение толщины пленки жидкости δR (м) ($\delta R = R_2 - R_1$) и размеров капли за счет испарения только с ее свободной (внешней) поверхности;
- 3) теплофизические характеристики компонентов неоднородной капли не зависят от температуры.

Применялась следующая система нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных ($0 \leq t \leq t_h$):

- для твердой частицы:

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial T_1}{\partial R} \right), \quad 0 < R < R_1; \quad (1)$$

- для жидкости:

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial T_2}{\partial R} + \frac{\partial H(R)}{\partial R} \right), \quad R_1 < R < R_2. \quad (2)$$

Принимались следующие начальные и граничные условия:

- а) начальные ($t = 0$):

$$T = T_0 \text{ при } 0 < R < R_2;$$

- б) граничные ($0 \leq t \leq t_h$):

- $R = 0$:

$$\frac{\partial T_1}{\partial R} = 0; \quad (3)$$

- $R = R_1$:

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial R} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial R} + H(R_1) - Q_e W_e; \quad (4)$$

- $R = R_2$:

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial R} = H(R_1) - Q_e W_e. \quad (5)$$

Здесь t — время, с; t_h — время нагрева неоднородной капли до достижения условия интенсивного парообразования, с; c — теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ — плотность, кг/м³; λ — коэффициент теплопровод-

ности, Вт/(м·К); T — температура, К; R — координата цилиндрической системы координат, м; $H(R)$ — плотность энергии, передаваемой от высокотемпературных газов к неоднородной капле, Вт/м²; T_0 — начальная температура неоднородной капли, К; Q_e — тепловой эффект испарения воды, Дж/кг; W_e — массовая скорость испарения воды, кг/(м²·с); индексы “1”, “2” соответствуют твердому включению и жидкости.

Для вычисления плотности теплового потока в рассматриваемой системе использовались математические выражения законов Стефана – Больцмана и Бугера – Ламберта – Бера [13]:

$$H(R_2) = \varepsilon_2 \sigma [T_f^4 - T(R_2)^4];$$

$$H(R_1) = H(R_2) \exp(-k_\lambda [R_2 - R_1]);$$

$$H(R) = H(R_2) \exp(-k_\lambda [R_2 - R]),$$

где ε — степень черноты;

σ — постоянная Стефана – Больцмана, Вт/(м²·К⁴);

k_λ — показатель поглощения, м⁻¹.

Расчет изменения размера капли за счет испарения со свободной поверхности проводился с применением типичного для моделей [14, 15] выражения:

$$\Delta R = W_e(R_2) t / \rho_2.$$

Система дифференциальных уравнений с соответствующими краевыми условиями решалась методом конечных разностей [16]. Для решения разностных аналогов дифференциальных уравнений использовался локально-одномерный метод [17]. Нелинейные разностные аналоги дифференциальных уравнений решались методом итераций [18]. Решение одномерных разностных уравнений проводилось методом прогонки с использованием неявной четырехточечной разностной схемы [16].

Для оценки возможности получения эффекта “взрывного” парообразования неоднородной капли были проведены эксперименты по нагреву и испарению капли воды с твердым включением в виде частицы графита. Схема используемого в экспериментах стенда представлена на рис. 2. Методы фиксации изображения капель в области пламени, а также задания, изменения и контроля параметров экспериментального стенда аналогичны приведенным в [10, 11, 19].

Методика проведения эксперимента включала следующие этапы. Капля заданной массы из дозатора 2 подавалась на твердое включение 5, закрепленное на стержне 3. После окончания процесса обволакивания включения жидкостью неоднородная капля с помощью стержня вводилась через одно из трех отверстий в цилиндр 8, заполненный продуктами сгорания с контролируемой температурой. Характерные средние размеры получаемых неоднородных капель изменялись в диапазоне $(2,5 \div 4,0) \cdot 10^{-3}$ м. За счет

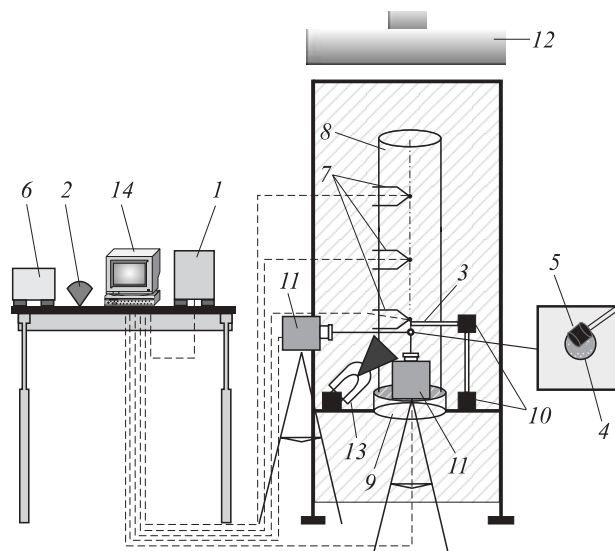


Рис. 2. Схема экспериментального стенда: 1 — весы; 2 — дозатор; 3 — стержень (держатель включения); 4 — капля; 5 — включение; 6 — комплекс для изготовления включения; 7 — термопары; 8 — цилиндр из кварцевого стекла; 9 — горелка; 10 — передвижные механизмы; 11 — высокоскоростные камеры; 12 — воздухообменная система; 13 — прожектор; 14 — персональный компьютер (ПК)

использования системы воздухообмена 12 и специализированных отверстий в горелке 9 температура поддерживалась в пределах отклонения от некоторого постоянного значения не более чем на 10 К (при абсолютном значении более 500 К) в течение 3 мин. Это позволяло выполнять по 5–7 экспериментов при идентичных условиях нагрева. После ввода капли в высокотемпературную газовую среду проводилась скоростная видеорегистрация процесса испарения с фиксацией изменения размеров капли и толщины пленки. Такие измерения продолжались в каждом эксперименте до полного испарения воды (толщина пленки не превышала величины, сопоставимой с погрешностью средств измерения) или “взрыва” капли с распадом ее на несколько существенно меньших. С использованием скоростных видеокамер 11 и программного обеспечения “Tema Automotive” определялись характерные времена существования неоднородной капли t_h (период с момента начала нагрева до “взрывного” распада или полного испарения в виде монолитной капли).

Результаты исследований и их обсуждение

Численные исследования тепломассопереноса при нагреве и испарении неоднородной капли воды в высокотемпературной газовой среде проводились при следующих параметрах системы: начальная температура неоднородной капли воды $T_0 = 300$ К; температура газовой среды $T_f = 800 \div 1500$ К; показатель поглощения лучистой энергии водой $k_\lambda = 10^{-3} \div 10^3$ м⁻¹;

тепловой эффект испарения воды $Q_e = 2260$ Дж/кг; начальный внешний радиус неоднородной капли $R_2 = (0,1 \div 1,0) \cdot 10^{-3}$ м; размер твердого включения $R_1 = 0,5R_2$. Теплофизические характеристики воды, водяного пара, высокотемпературных газов и графитового включения соответствуют приведенным в [20–22].

В результате численных исследований были определены условия, при которых реализуется фазовый переход на внутренней границе неоднородной капли ($R = R_1$). При температуре газовой среды $T_f \geq 950$ К и толщине пленки жидкости $\delta R \geq 0,2 \cdot 10^{-3}$ м на границе раздела *твердое включение — жидкость* выполняются условия испарения воды ($T \approx 370$ К). Следует отметить, что при более низкой температуре газов или при меньшей толщине пленки воды условия испарения на внутренней границе капли не выполняются, и испарение происходит только с внешней границы ($R = R_2$).

На рис. 3 представлены распределения температуры в неоднородной капле воды в разные моменты времени при различных значениях показателя поглощения лучистой энергии жидкостью. На рис. 3,а и 3,б иллюстрируется более интенсивный прогрев на границе раздела фаз *твердое включение — жидкость* при меньших значениях показателя поглощения k_λ . При этом распределения температуры при $k_\lambda = 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ и при $k_\lambda = 10 \text{ м}^{-1}$ практически не отличаются. В то же время распределения температуры при значительно большем показателе поглощения ($k_\lambda = 10^3 \text{ м}^{-1}$) (рис. 3,в) существенно отличаются от представленных на рис. 3,а и 3,б. Из рис. 3,в видно, что прогрев капли на внутренней границе раздела происходит гораздо медленнее, а масса жидкости интенсивно убывает с внешней границы неоднородной капли.

При проведении исследований в качестве основной характеристики процесса было принято время с момента начала нагрева неоднородной капли в среде высокотемпературных газов до реализации интенсивного испарения в зоне контакта твердого включения с пленкой жидкости или до полного испарения капли t_h .

Для определения степени влияния на параметр t_h оптических свойств воды, связанных со способностью пропускать лучистую энергию, показатель поглощения лучистой энергии водой k_λ варьировался в широком диапазоне (от минимально возможных до максимальных и даже трудно достижимых в реальной практике значений). Результаты численных

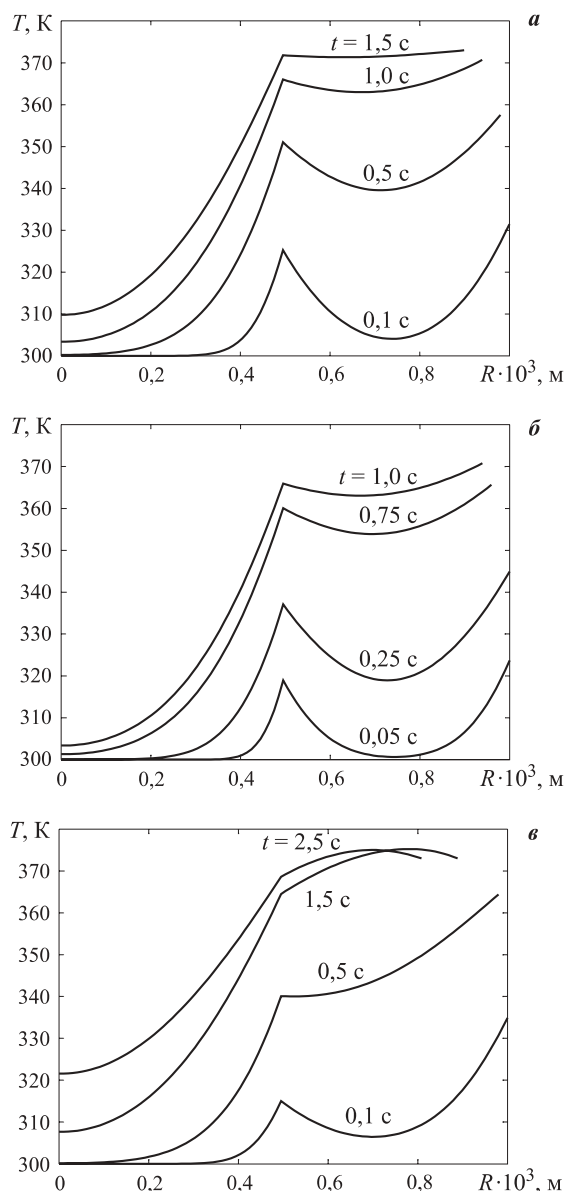


Рис. 3. Распределения температуры в неоднородной капле воды при $T_f = 1400$ К, $\delta R = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м в разные моменты времени t : а — $k_\lambda = 10^{-3} \text{ м}^{-1}$; б — $k_\lambda = 10 \text{ м}^{-1}$; в — $k_\lambda = 10^3 \text{ м}^{-1}$

исследований влияния оптических свойств воды на параметр t_h представлены в таблице.

Необходимо отметить, что изменение показателя поглощения в диапазоне $k_\lambda = 10^{-3} \div 10 \text{ м}^{-1}$ практически не оказывает влияния на время t_h (см. таблицу). С дальнейшим увеличением показателя поглощения k_λ заметно возрастает и характерное время t_h . “Пороговое” значение k_λ , при котором рост параметра t_h становится заметным, составляет $2 \cdot 10^2 \text{ м}^{-1}$. Такой результат вполне закономерен, поскольку величина

Зависимость времени нагрева неоднородной капли воды до достижения условия интенсивного парообразования на внутренней границе t_h от показателя k_λ при $R_2 = 10^{-3}$ м, $\delta R = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м $T_f = 1400$ К

$k_\lambda, \text{ м}^{-1}$	0,001	0,010	0,900	10	50	100	1000
$t_h, \text{ с}$	1,775	1,776	1,777	1,801	1,915	2,0805	4,585

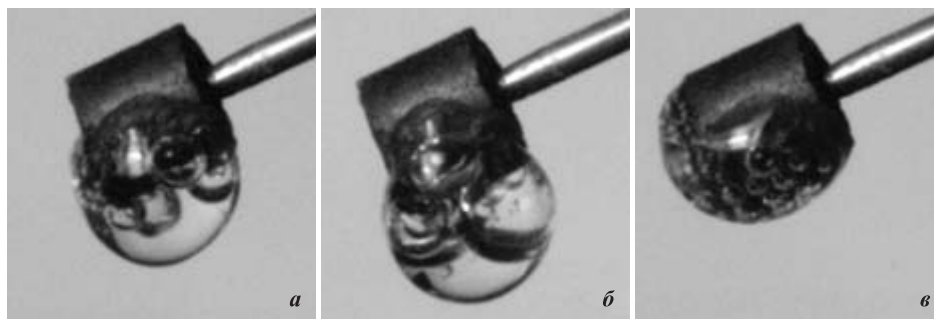


Рис. 4. Типичные стадии испарения и кипения неоднородной капли воды с включением в виде частицы графита при $T_f = 1400$ К: *а* — формирование пузырьков пара на внутренней границе раздела; *б* — увеличение размеров неоднородной капли; *в* — разрушение капли

k_λ обратно пропорциональна расстоянию, которое может преодолеть оптическое излучение, распространяясь в веществе. Таким образом, при заданной толщине пленки воды $\delta R = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м предельным значением показателя поглощения лучистой энергии, при котором происходит полное поглощение оптической энергии на границе раздела *твердое включение – жидкость*, является $k_\lambda = 2 \cdot 10^3$ м $^{-1}$.

Из этого следует, что для реализации режима испарения неоднородной капли, при котором формируются очаги парообразования на внутренней границе раздела, пригодны жидкости, оптические свойства которых (в частности, k_λ) характеризуются большим диапазоном значений. Следовательно, для тушения лесных пожаров с применением эффекта “взрывного” парообразования может использоваться и вода из открытых водоемов. При этом должно соблюдаться соответствие между показателем поглощения и толщиной пленки жидкости в неоднородной капле. В целом можно отметить, что жидкости с низкой способностью пропускать излучение необходимо дробить на капли, размеры которых меньше (практически сопоставимы с включениями) по сравнению с каплями жидкости с большей светопрозрачностью.

Эффект “взрывного” парообразования был зафиксирован при проведении экспериментальных исследований с использованием лабораторного стенда (см. рис. 2). Процесс нагрева и испарения неоднородной капли осуществлялся при температуре газов $T_f = 1100$ К. Радиус графитового включения составлял $1,5 \cdot 10^{-3}$ м, внешний радиус неоднородной капли — $3 \cdot 10^{-3}$ м.

Типичные видеок cadры стадий исследуемого процесса представлены на рис. 4. На первой стадии происходит прогрев неоднородной капли, на реализацию которого затрачивается в среднем менее 1 с. Затем начинается формирование пузырьков пара на внутренней границе раздела (см. рис. 4,а). На второй стадии объем пара, образующегося на внутренней границе, увеличивается, растет также температура и давление пара внутри пузырьков, вследствие чего неоднородная капля существенно увеличивается в размерах (см. рис. 4,б). Когда объем пара и его давление в пузырьках достигают критических

значений, происходит разрушение пленки жидкости (см. рис. 4,в).

Проведенные эксперименты подтверждают возможность реализации эффекта “взрывного” испарения капель жидкости с твердыми включениями при взаимодействии с пламенем, а также адекватность представленной численной модели тепломассопереноса при нагреве и испарении капли воды с твердым включением в пламени.

Заключение

Результаты численного моделирования нагрева и испарения неоднородной капли воды с твердым включением в пламенной зоне горения позволили установить условия реализации режима “взрывного” парообразования на границе раздела *твердое включение – жидкость*.

С применением численной модели была определена степень влияния показателя поглощения лучистой энергии пленкой жидкости в неоднородной капле на характерное время с момента начала нагрева капли до реализации режима “взрывного” парообразования t_h . Выявлено, что для капель с толщиной пленки $\delta R \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ м изменение показателя поглощения энергии излучения в диапазоне $k_\lambda = 10^{-3} \div 10^2$ м $^{-1}$ не оказывает существенного влияния на t_h . Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения для тушащего состава даже не подготовленной специальным образом воды (например, из открытых водоемов при тушении лесных пожаров). Однако при использовании воды, характеризующейся большими значениями k_λ , капли должны дробиться до размеров, соответствующих k_λ .

Адекватность разработанной численной модели тепломассопереноса при испарении неоднородной капли воды в зоне пламени подтверждена результатами экспериментов по реализации режима “взрывного” парообразования на внутренней границе капли с твердым включением.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МД-2806.2015.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баратов А. Н., Иванов В. Н. Пожаротушение. — М. : Химия, 1979.
2. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие средства. — М. : Стройиздат, 1975.
3. Абдурагимов И. М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 4. — С. 60–82.
4. Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Микроэмульсии вода – ПАВ – ко-ПАВ – 1,1,2,2-тетрафтордибромэтан: получение, изучение горючести // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 4. — С. 55–57.
5. Копылов С. Н., Агафонов В. В., Копылов Н. П. Эволюция средств объемного пожаротушения: от озоноразрушающих агентов до огнетушащих веществ с коротким временем жизни в атмосфере // Пожарная безопасность. — 2012. — № 2. — С. 123–130.
6. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K. Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles // Fire Safety Science: Proceeding of Eight International Symposium. — 2005. — Vol. 27. — P. 753–764.
7. Корольченко Д. А., Громовой В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 54–57.
8. Соковилов В. В., Тугов А. Н., Гришин В. В., Камышев В. Н. Автоматическое водяное пожаротушение с применением тонкораспыленной воды на электростанциях // Энергетик. — 2008. — № 6. — С. 37–38.
9. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of initial sizes and velocities of water droplets on transfer characteristics at high-temperature gas flow // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2014. — Vol. 79. — P. 838–845. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.09.006.
10. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Experimental investigation of mixtures and foreign inclusions in water droplets influence on integral characteristics of their evaporation during motion through high-temperature gas area // International Journal of Thermal Science. — 2015. — Vol. 88. — P. 193–200. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2014.10.002.
11. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Influence of solid inclusions in liquid drops moving through a high temperature gaseous medium on their evaporation // Technical Physics. — 2014. — Vol. 59, No. 12. — P. 1770–1774. DOI: 10.1134/S1063784214120299.
12. Михайлов В. Н., Добровольский А. Д., Добролюбов С. А. Гидрология. — М. : Высшая школа, 2007.
13. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М. : Атомиздат, 1979.
14. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical analysis of heat-mass transfer mechanisms in gas-phase ignition of films of liquid condensed substances by a laser beam // Journal of Engineering Thermophysics. — 2010. — No. 2. — P. 85–93. DOI: 10.1134/S1810232810020049.
15. Strizhak P. A. Influence of droplet distribution in a “water slug” on the temperature and concentration of combustion products in its wake // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. — 2013. — Vol. 86, Issue 4. — P. 895–904. DOI: 10.1007/s10891-013-0909-9.
16. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М. : Наука, 1983.
17. Самарский А. А., Вабичевич П. Н. Численные методы решения задач конвекции – диффузии. — М. : Эдиториал УРСС, 1999.
18. Коздоба Л. А. Методы решения нелинейных задач теплопроводности. — М. : Наука, 1975.
19. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Experimental investigation of atomized water droplet initial parameters influence on evaporation intensity in flaming combustion zone // Fire Safety Journal. — 2014. — Vol. 70. — P. 61–70. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.08.016.
20. Кнаке О., Странский И. Н. Механизм испарения // Успехи физических наук. — 1959. — Т. 68, № 2. — С. 261–305.
21. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М. : ООО “Старс”, 2006. — 720 с.
22. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 1–2. — 1640 с.

Материал поступил в редакцию 31 марта 2015 г.

Для цитирования: Высокоморная О. В., Пискунов М. В., Стрижак П. А., Щербинина А. А. Влияние показателя поглощения тушащей жидкости на интенсивность кипения и испарения неоднородной капли в пламени // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 9–16. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.9-16.

INFLUENCE OF EXTINGUISHING LIQUID ABSORPTION COEFFICIENT ON INTENSITY OF BOILING AND EVAPORATION OF HETEROGENEOUS DROPLET IN A FLAME

VYSOKOMORNAYA O. V., Postdoc, Heat and Power Process Automation Department, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: vysokomornaja@tpu.ru)

PISKUNOV M. V., Postgraduate Student, Heat and Power Process Automation Department, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: piskunovmv@tpu.ru)

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

SHCHERBININA A. A., Postgraduate Student, Heat and Power Process Automation Department, Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: syasherb@tpu.ru)

ABSTRACT

The numerical model and methodology of experimental researches of heat and mass transfer during the heating, boiling and evaporation of heterogeneous water droplet in a high-temperature area are presented in the work.

The results of numerical and experimental researches of evaporation of water droplet with a solid graphite inclusion in a flaming combustion area are introduced. The conditions of an “explosive” vaporization mode realization in a contact zone of solid inclusion and liquid film (temperature of gaseous area is $T_f \geq 1050$ K and water film thickness is $\delta R \geq 0.2 \cdot 10^{-3}$ m) are determined. The main stages of studying process are fixed on video: the droplet heat-up, the beginning of bubble formation of vapor at the interface *solid inclusion — liquid*, the volume increase of vapor bubble, the droplet fission.

The influence of optical water characteristic (absorption coefficient of radiant energy k_λ) on the typical period t_h from the beginning of heterogeneous liquid droplet heating to the realization of an “explosive” vaporization conditions is analyzed. It is shown that for droplets with liquid film size $\delta R \approx 0.5 \cdot 10^{-3}$ m the change of the absorption coefficient of radiant energy in a wide range $k_\lambda = 10^{-3} \div 10^2$ m⁻¹ doesn't influence on t_h significantly. The application possibility of water unprepared (in the case of optical properties) in a special way (for example from open ponds at forest fire extinguishing) for extinguishing composition is substantiated, provided accounting of the absorption coefficient of the liquid in the process of selecting the characteristic sizes of the generated droplets.

Keywords: heterogeneous water droplet; solid inclusion; flame; evaporation; “explosive” vaporization; absorption coefficient.

REFERENCES

1. Baratov A. N., Ivanov V. N. *Pozharotusheniye* [Fire extinguishing]. Moscow, Khimiya Publ., 1979.
2. Shrayber G., Porst P. *Ognetushashchiye sredstva* [Fire fighting agents]. Moscow, Stroyizdat, 1975.
3. Abduragimov I. M. O mekhanizmax ognetushashchego deystviya sredstv pozharotusheniya [About mechanisms of fire fighting effect of fire-extinguishing means]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 4, pp. 54–57.
4. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Mikroemulsii voda – PAV – ko-PAV – 1,1,2,2-tetraftordibrometan: polucheniye, izucheniye goryuchesti [Preparation and combustibility study of microemulsions Water – Surfactant – Co-surfactant – 1,1,2,2-dibromotetrafluoroethane]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 4, pp. 55–57.
5. Kopylov S. N., Agafonov V. V., Kopylov N. P. Evolyutsiya sredstv obyemnogo pozharotusheniya: ot ozonorazrushayushchikh agentov do ognetushashchikh veshchestv s korotkim vremenem zhizni v atmosfere [The development of total saturation instruments: from ozone-destroying agents to fire-fighting substances with short life time in atmosphere]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2012, no. 2, pp. 123–130.

6. Karpov A. I., Novozhilov V. B., Galat A. A., Bulgakov V. K. Numerical modeling of the effect of fine water mist on the small scale flame spreading over solid combustibles. *Fire Safety Science: Proceeding of Eight International Symposium*, 2005, vol. 27, pp. 753–764.
7. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysotnykh zdaniyakh [The water mist application for fire fighting in high-rise buildings]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 54–57.
8. Sokovikov V. V., Tugov A. N., Grishin V. V., Kamyshev V. N. Avtomaticheskoye vodyanoye pozharotusheniye s primeneniym tonkoraspylennoy vody na elektrostantsiyakh [Automatical water fire fighting by water mist at power plants]. *Energetik — Power Engineer*, 2008, no. 6, pp. 37–38.
9. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of initial sizes and velocities of water droplets on transfer characteristics at high-temperature gas flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2014, vol. 79, pp. 838–845. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.09.006.
10. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Experimental investigation of mixtures and foreign inclusions in water droplets influence on integral characteristics of their evaporation during motion through high-temperature gas area. *International Journal of Thermal Science*, 2015, vol. 88, pp. 193–200. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2014.10.002.
11. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Influence of solid inclusions in liquid drops moving through a high temperature gaseous medium on their evaporation. *Technical Physics*, 2014, vol. 59, no. 12, pp. 1770–1774. DOI: 10.1134/S1063784214120299.
12. Mikhaylov V. N., Dobrovolskiy A. D., Dobrolyubov S. A. *Gidrologiya* [Hydrology]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2007.
13. Kutateladze S. S. *Osnovy teorii teploobmena* [The foundations of the heat exchange theory]. Moscow, Atomizdat, 1979.
14. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Numerical analysis of heat-mass transfer mechanisms in gas-phase ignition of films of liquid condensed substances by a laser beam. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2010, no. 2, pp. 85–93. DOI: 10.1134/S1810232810020049.
15. Strizhak P. A. Influence of droplet distribution in a “water slug” on the temperature and concentration of combustion products in its wake. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 4, pp. 895–904. DOI: 10.1007/s10891-013-0909-9.
16. Samarskiy A. A. *Teoriya raznostnykh skhem* [Theory of difference scheme]. Moscow, Nauka Publ., 1983.
17. Samarskiy A. A., Vabishchevich P. N. *Chislennyye metody resheniya zadach konveksii – diffuzii* [Numerical methods of solution of convection-diffusion problems]. Moscow, Editorial URSS Publ., 1999.
18. Kozdoba L. A. *Metody resheniya nelineynykh zadach teploprovodnosti* [The solution methods of non-linear heat conduction problem]. Moscow, Nauka Publ., 1975.
19. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Experimental investigation of atomized water droplet initial parameters influence on evaporation intensity in flaming combustion zone. *Fire Safety Journal*, 2014, vol. 70, pp. 61–70. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.08.016.
20. Knake O., Stranskiy I. N. Mekhanizm ispareniya [Evaporation mechanism]. *Uspekhi fizicheskikh nauk — Advances in Physical Sciences*, 1959, vol. 68, no. 2, pp. 261–305.
21. Vargaftik N. B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Reference book of the thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, Stars Publ., 2006. 720 p.
22. Yurenev V. N., Lebedev P. D., eds. *Teplotekhnicheskiiy spravochnik* [Heat engineering reference book]. Moscow, Energiya Publ., 1975, vol. 1–2. 1640 p.

For citation: Vysokomornaya O. V., Piskunov M. V., Strizhak P. A., Shcherbinina A. A. Vliyaniye pokazatelya pogloshcheniya tushashchey zhidkosti na intensivnost kipeniya i ispareniya neodnorodnoy kapli v plameni [Influence of extinguishing liquid absorption coefficient on intensity of boiling and evaporation of heterogeneous droplet in a flame]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 9–16. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.9-16.

С. Г. АЛЕКСЕЕВ, канд. хим. наук, доцент, чл.-корр. ВАНКБ, 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: Alekshelev@mail.ru)

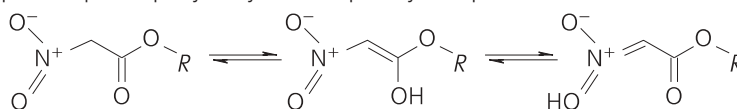
Н. М. БАРБИН, д-р техн. наук, канд. хим. наук, заведующий кафедрой химии Уральского государственного аграрного университета (Россия, 620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42); старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: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

М. А. СПИРИДОНОВ, д-р хим. наук, главный научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: sma@mtf.ustu.ru)

УДК 614.841.41:547-304.1:547-326

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ. XIX. НИТРОАЦЕТАТЫ

Проведено QSPR-исследование в ряду нитроацетатов. Показано, что при температуре кипения исследуемые соединения существуют в смеси кето- и одной из енольной форм. При температуре вспышки в паровой фазе присутствуют все три таутомера:



Установлено, что прогнозирование температуры кипения и вспышки по одной изомерной форме дает неприемлемые результаты. С помощью программ ACD/Lab 2014 и TEST рассчитаны температуры кипения и вспышки кето- и енольных таутомеров нитроуксусных эфиров и изомерных смесей. Найдено, что с помощью метода углеродной цепи можно с точностью до 1–4 градусов сделать прогноз температур вспышки нитроацетатов. Для удобства применения данного метода предложено уравнение: $T_{\text{всп}} = -0,0833x^3 + 1,75x^2 - 4,5238x + 361,57$ (где x – число атомов углерода в молекуле).

Ключевые слова: эфир; нитроацетат; температура вспышки; прогноз; хемоинформатика.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.17-27

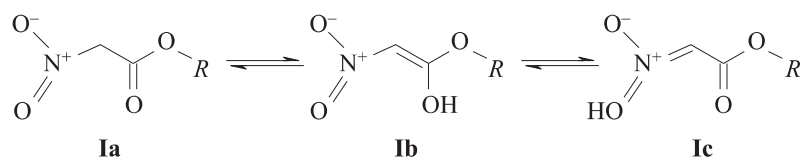
Одним из направлений хемоинформатики является поиск взаимосвязи между химическим строением и свойствами органических соединений. В этой области уже достигнут определенный прогресс, что нашло отражение в целом ряде обзоров, монографий и диссертаций [1–39].

Настоящая работа продолжает начатый нами цикл исследований по корреляции между химическим строением и пожарной опасностью различных классов органических соединений [40–57]. Объектом настоящего исследования являются нитроацетаты, в частности нитроуксусный эфир ($R = C_2H_5$). Он широко применяется в тонком органическом синтезе различных соединений, включая противовирусный препарат широкого спектра действия три-

азавирин [58], который может использоваться для борьбы с такими злободневными заболеваниями, как лихорадка Эбола, птичий и свиной грипп [59].

Необходимо отметить, что ациклические производные нитроуксусного эфира (I) существуют либо в кетоформе, либо в смеси кетоизомера с одним из енольных таутомеров (см. рисунок) [60].

В таблице представлены справочные и расчетные данные по температурам кипения и вспышки нитроэфиров (II)–(VIII). Прогнозирование температур кипения и вспышки выполнено с помощью специального программного обеспечения ACD/Lab 2014 (Advanced Chemistry Development, Inc., Canada) и TEST, версия 4.1 (Environmental Protection Agency, USA) для кето- и енольных форм и смесей изомеров. Тем-



Производные нитроуксусного эфира

Температуры кипения и вспышки соединений II–VIII

Соединение	R	$T_{\text{кип}}$, К	Ошибка, К	$T_{\text{всп}}$, К	Ошибка, К
II	CH ₃	468–471	–	–	–
IIa	CH ₃	472 ¹	2,5	354 ¹	8
		470 ²	0,5	378 ²	16
		447 ³	22,5	344 ³	22
		445 ⁴	24,5	363 ⁴	3
IIb	CH ₃	466 ¹	3,5	343 ¹	19
		–	–	385 ³	23
		–	–	403 ⁴	41
IIc	CH ₃	547 ¹	77,5	391 ¹	29
IIa + IIb	CH ₃	469 ¹	0,5	349 ¹	13
IIa + IIc	CH ₃	510 ¹	40,5	373 ¹	11
IIa + IIb + IIc	CH ₃	495 ¹	25,5	362 ¹	–
				361	1
				361*	1
III	CH ₂ CH ₃	513⁵ 515–518 500–502	–	366⁵ 365	–
IIIa	CH ₂ CH ₃	484 ¹	29	357 ¹	9
		482 ²	31	365 ²	1
		451 ³	62	360 ³	6
		457 ⁴	56	366 ⁴	0
IIIb	CH ₂ CH ₃	473 ¹	40	348 ¹	18
IIIc	CH ₂ CH ₃	549 ¹	36	394 ¹	
IIIa + IIIb	CH ₂ CH ₃	479 ¹	35	353 ¹	13
IIIa + IIIc	CH ₂ CH ₃	517 ¹	4	376 ¹	10
IIIa + IIIb + IIIc	CH ₂ CH ₃	502 ¹	11	366 ¹	0
				367	1
				366*	0
IVa	(CH ₂) ₂ CH ₃	475 ¹	41	361 ¹	11
		475 ³	41	367 ³	5
		475 ⁴	41	377 ⁴	5
IVb	(CH ₂) ₂ CH ₃	488 ¹	28	357 ¹	15
IVc	(CH ₂) ₂ CH ₃	557 ¹	41	399 ¹	27
IVa + IVb	(CH ₂) ₂ CH ₃	482 ²	34	359 ¹	13
IVa + IVc	(CH ₂) ₂ CH ₃	516 ¹	–	380 ¹	8
IVa + IVb + IVc	(CH ₂) ₂ CH ₃	507 ¹	9	372 ¹	–
				374	2
				372*	0
Va	(CH ₂) ₃ CH ₃	492 ¹	38	365 ¹	17
		484 ³	46	365 ³	17
		490 ⁴	40	383 ⁴	1

Соединение	R	$T_{кин}$, К	Ошибка, К	$T_{всп}$, К	Ошибка, К
Vb	(CH ₂) ₃ CH ₃	<i>506¹</i>	24	<i>368¹</i>	14
Vc	(CH ₂) ₃ CH ₃	<i>568¹</i>	38	<i>405¹</i>	23
Va + Vb	(CH ₂) ₃ CH ₃	<i>499¹</i>	31	<i>370¹</i>	12
Va + Vc	(CH ₂) ₃ CH ₃	530¹	—	<i>389¹</i>	7
Va + Vb + Vc	(CH ₂) ₃ CH ₃	<i>522¹</i>	8	382¹	—
				<u>379</u>	3
				379*	3
VIa	(CH ₂) ₄ CH ₃	<i>511¹</i>	36	<i>370¹</i>	15
		<i>497³</i>	50	<i>371³</i>	14
		—	—	<i>390⁴</i>	5
VIb	(CH ₂) ₄ CH ₃	<i>523¹</i>	24	<i>373¹</i>	12
VIc	(CH ₂) ₄ CH ₃	<i>583¹</i>	36	<i>413¹</i>	28
VIa + VIb	(CH ₂) ₄ CH ₃	<i>517¹</i>	30	<i>372²</i>	13
VIa + VIc	(CH ₂) ₄ CH ₃	547¹	—	<i>392¹</i>	7
VIa + VIb + VIc	(CH ₂) ₄ CH ₃	<i>539¹</i>	8	385¹	—
				<u>389</u>	4
				387*	2
VIIa	(CH ₂) ₅ CH ₃	<i>529¹</i>	33	<i>374¹</i>	21
		<i>522³</i>	40	<i>378³</i>	17
		—	—	<i>398⁴</i>	3
VIIb	(CH ₂) ₅ CH ₃	<i>541¹</i>	21	<i>389¹</i>	6
		—	—	<i>417³</i>	22
		—	—	<i>460⁴</i>	65
VIIc	(CH ₂) ₅ CH ₃	<i>594¹</i>	32	<i>421¹</i>	26
VIIa + VIIb	(CH ₂) ₅ CH ₃	<i>535¹</i>	27	<i>382¹</i>	13
VIIa + VIIc	(CH ₂) ₅ CH ₃	562¹	—	<i>398¹</i>	3
VIIa + VIIb + VIIc	(CH ₂) ₅ CH ₃	<i>555¹</i>	7	395¹	—
				<u>394</u>	1
				395	0
VIIIa	(CH ₂) ₆ CH ₃	<i>547¹</i>	30	<i>378¹</i>	24
		<i>524³</i>	53	<i>380¹</i>	22
VIIIb	(CH ₂) ₆ CH ₃	<i>559¹</i>	18	<i>399¹</i>	3
		—	—	<i>401³</i>	1
VIIIc	(CH ₂) ₆ CH ₃	<i>607¹</i>	30	<i>429¹</i>	27
VIIIa + VIIIb	(CH ₂) ₆ CH ₃	<i>553¹</i>	24	<i>389¹</i>	13
VIIIa + VIIIc	(CH ₂) ₆ CH ₃	577¹	—	<i>404¹</i>	2
VIIIa + VIIIb + VIIIc	(CH ₂) ₆ CH ₃	<i>571¹</i>	6	402¹	—
				<u>399</u>	3
				402	0

Примечания:

1. Нормальным шрифтом приведены экспериментальные данные из базы данных ACD/Lab. Курсивом выделены расчетные данные; курсивом с подчеркиванием — данные, полученные по методу углеродной цепи; курсивом со звездочкой — по предложенному уравнению (1); жирным шрифтом — значения, взятые в качестве эталона для сравнения.

2. Индексами 1–4 обозначены данные, полученные соответственно по методу программы ACD/Lab, по методу программы ACD/Lab по данным химической базы ChemSpider, по методу среднего значения (Consensus Method) программы TEST, по методу иерархической кластеризации (Hierarchical Clustering Method) программы TEST.

3. Индексом 5 обозначены данные, полученные авторами.

пературы кипения и вспышки смесей изомеров определены как средние значения показателей чистых изомеров. На основании сопоставления экспериментальных данных с результатами прогноза для метилового (II) и этилового (III) эфиров (см. таблицу) можно сделать вывод, что нитроуксусные эфиры (II)–(VIII) при кипении существуют в смеси кето- и одной из енольной форм, а при температуре вспышки в паровой фазе присутствуют все три изомера. С учетом этого выбраны соответствующие эталоны для сравнения результатов расчета температур кипения и вспышки нитроацетатов.

В предыдущих исследованиях [40–57] на различных классах органических соединений успешно апри-

обирован метод углеродной цепи (МУЦ). В случае нитроацетатов он также позволяет с точностью 1–4 К предсказывать температуру вспышки смеси изомеров нитроацетатов (см. таблицу). Для удобства применения МУЦ можно воспользоваться следующим эмпирическим уравнением:

$$T_{\text{всп}} = -0,0833x^3 + 1,75x^2 - 4,5238x + 361,57 \quad (r^2 = 0,9906), \quad (1)$$

где x — число атомов углерода в молекуле.

В заключение отметим, что при прогнозировании температур кипения и вспышки нитроацетатов необходимо учитывать таутомерные равновесия, поэтому расчеты этих показателей по чистому изомеру не дают приемлемых результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Todeschini R., Consonni V. Handbook of molecular descriptors // Methods and Principles in Medicinal Chemistry / R. Mannhold, H. Kubinyi, H. Timmerman (eds.). — Darmstadt : Wiley-VCH Verlag GmbH, 2000. — Vol. 11. — 667 p.
2. Todeschini R., Consonni V. Molecular descriptors for chemoinformatics. — Weinheim : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. — Vol. I & II. — 1265 p.
3. QSAR and Molecular Modeling Studies in Heterocyclic Drugs I / S. P. Gupta (ed.) // Topics in Heterocyclic Chemistry / R. R. Gupta (ed.). — Berlin : Springer-Verlag, 2006. — Vol. 3. — 278 p.
4. QSAR and Molecular Modeling Studies in Heterocyclic Drugs II / S. P. Gupta (ed.) // Topics in Heterocyclic Chemistry / R. R. Gupta (ed.). — Berlin : Springer-Verlag, 2006. — Vol. 4. — 296 p.
5. Statistical modelling of molecular descriptors in QSAR/QSPR / M. Dehmer, K. Varmuza, D. Bonchev, F. Emmert-Streib (eds.). — N. Y. : Wiley-Blackwell, 2012. — 456 p.
6. Roy K., Kar S., Das R. N. A primer on QSAR/QSPR modeling. Fundamental concepts. — Heidelberg : Springer, 2015. — 121 p.
7. Katritzky A. R., Kuanar M., Slavov S., Hall C. D., Karelson M., Kahn I., Dobchev D. A. Quantitative correlation of physical and chemical properties with chemical structure: utility for prediction // Chemical Reviews. — 2010. — Vol. 110, No. 10. — P. 5714–5789. DOI: 10.1021/cr900238d.
8. Батов Д. В. Использование аддитивно-группового метода для анализа, систематизации и прогнозирования показателей пожарной опасности горючих жидкостей // Российский химический журнал. — 2014. — Т. LVIII, № 2. — С. 4–14.
9. 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.
10. 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.
11. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть IV. Дескрипторный метод расчета // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 18–37.
12. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Методы прогнозирования основных показателей пожаровзрывоопасности органических соединений // Техносферная безопасность. — 2015. — № 2(7). URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal#> (дата обращения: 05.07.2015).
13. Батов Д. В. Термохимия растворов органических неэлектролитов в смешанных растворителях : дис. ... д-ра хим. наук. — Иваново, 2002. — 317 с.
14. Виноградова М. Г. Расчетные методы исследования взаимосвязи “структура – свойство” в атом-атомном представлении : дис. ... д-ра хим. наук. — Тверь, 2004. — 440 с.
15. Волков Л. П. Новые корреляции физических свойств веществ, способы их определения, прогнозирования : дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — Самара, 2005. — 283 с.
16. Скворцова М. И. Математические модели и алгоритмы в исследованиях связи между структурой и свойствами органических соединений : дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — М., 2007. — 272 с.
17. Васин А. Я. Взаимосвязь химического строения и пожаровзрывоопасности органических красителей, лекарственных средств и их аэрозвесей : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 2008. — 306 с.

18. Кузнецов М. А. Научные основы прогнозирования и расчета термодинамических свойств неполярных углеводородов : дис. ... д-ра техн. наук. — Тамбов, 2008. — 325 с.
19. Баскин И. И. Моделирование свойств химических соединений с использованием искусственных нейронных сетей и фрагментных дескрипторов : дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — М., 2009. — 365 с.
20. Кирлан С. А. Моделирование и прогноз свойств биологически активных гетероциклических соединений на основе связи “структура – активность – токсичность” : автореф. дис. ... д-ра хим. наук. — Уфа, 2011. — 49 с.
21. Гришина М. А. Анализ и прогноз биологической активности соединений на основе физико-химических закономерностей : автореф. дис. ... д-ра хим. наук. — Уфа, 2012. — 42 с.
22. Красных Е. Л. Давление насыщенных паров и энтальпии испарения кислородсодержащих соединений. Модифицированный QSPR-метод прогнозирования указанных свойств : дис. ... д-ра хим. наук. — Самара, 2015. — 247 с.
23. Боридко В. С. Программный комплекс для прогнозирования свойств сложных органических соединений на основе анализа неоднозначных зависимостей “структура – свойство” : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2000. — 107 с.
24. Артеменко Н. В. Прогнозирование липофильности и других физико-химических свойств органических соединений с применением фрагментного подхода и искусственных нейронных сетей : дис. ... канд. хим. наук. — М., 2002. — 193 с.
25. Рыжов А. Н. Конформационный анализ алканов в задачах “структура – свойство” : дис. ... канд. хим. наук. — М., 2005. — 180 с.
26. Харитонова А. Г. Физико-химические свойства азотсодержащих гетероциклических соединений. Связь “структура – свойство” : автореф. дис. ... канд. хим. наук. — Самара, 2005. — 23 с.
27. Иванова А. А. Методология построения количественных моделей связи “структура – свойство” для разнородных выборок органических соединений : дис. ... канд. хим. наук. — М., 2007. — 186 с.
28. Захаров А. В. Прогноз количественных свойств органических соединений на основе дескрипторов атомных окрестностей : дис. ... канд. биол. наук. — М., 2008. — 120 с.
29. Аносова Е. Б. Пожаровзрывоопасность новых фармацевтических препаратов и полупродуктов их синтеза : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2009. — 177 с.
30. Прохорова П. Е. Синтез и свойства карбонилпроизводных 1,2,3-тиадиазола : дис. ... канд. хим. наук. — Екатеринбург, 2010. — 159 с.
31. Веденина Н. В. Анализ и прогнозирование экологической опасности органических веществ : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Волгоград, 2010. — 22 с.
32. Передерин Ю. В. Прогнозирование свойств высокоэнергетических композитов с использованием информационных технологий : дис. ... канд. техн. наук. — Бийск, 2013. — 179 с.
33. Nannoolal Y. Methods for the estimation of critical properties, liquid vapour pressure and liquid viscosity of organic compounds : dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — University of Kwazulu-Natal, 2006. — 463 p.
34. Goodman B. T. Thermodynamic property prediction for solid organic compounds based on molecular structure : dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — Brigham Young University, 2010. — 108 p.
35. 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.
36. Gebreyohannes S. Quantitative structure-property relationship generalized activity coefficient models : dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — Oklahoma State University, 2014. — 177 p.
37. Yerramsetty K. M. Quantitative structure-property relationship modeling & computer-aided molecular design: Improvements & applications : dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — Birla Institute of Technology and Science Pilani, 2005. — 292 p.
38. Krein M. On the development and use of large chemical similarity networks, informatics best practices and novel chemical descriptors towards materials quantitative structure property relationships : dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — Faculty of Rensselaer Polytechnic Institute, 2011. — 207 p.
39. Sirimulla S. Computer aided drug design methods & quantitative structure – activity/property relationships. — University of Texas at El Paso, 2010. — 112 p.
40. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканола // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30.

41. 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.
42. 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.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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.
50. 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.
51. 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 // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 38–46.
52. 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.
53. 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.
54. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XV. Тиозиферы // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 11. — С. 24–33.
55. Алексеев С. Г., Кошелев А. Ю., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XVI. α, ω -Аминоспирты // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 13–19.
56. Алексеев С. Г., Мавлютова Л. К., Кошелев А. Ю., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XVII. Дихлоралканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 1. — С. 25–39.
57. Алексеев С. Г., Кошелев А. Ю., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XVIII. Алкильные производные аминометанола // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 2. — С. 36–44.
58. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С., Пицальников А. В., Орлов С. А., Уломский Е. Н., Артемьев Г. А. Показатели пожаровзрывоопасности нитроуксусного эфира // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 48–53.
59. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С., Пицальников А. В., Орлов С. А., Уломский Е. Н. Показатели пожаровзрывоопасности противовирусного препарата триазирина и полупродуктов его синтеза // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 46–48.

60. Азотсодержащие соединения / Под ред. И. О. Сазерленда // Общая органическая химия / Под ред. Д. Бартона, У. Д. Оллиса. — М. : Химия, 1982. — Т. 3. — 736 с.

Материал поступил в редакцию 12 июня 2015 г.

Для цитирования: Алексеев С. Г., Кошелев А. Ю., Барбин Н. М., Спиридонов М. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XIX. Нитроацетаты // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 17–27. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.17-27.

English

CORRELATION OF FIRE HAZARD CHARACTERISTICS WITH CHEMICAL STRUCTURE. XIX. NITROACETATES

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

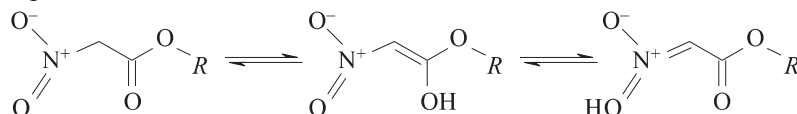
KOSHELEV A. Yu., Senior Lecturer of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation); Postgraduate Student of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Mira St.,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

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

SPIRIDONOV M. A., Doctor of Chemical Sciences, Senior Researcher of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: sma@mtf.ustu.ru)

ABSTRACT

QSPR research in the number of nitroacetates is carried out. It is shown that at the boiling point these compounds exist in mix the keto form and one of the enol forms. There are all three tautomers at flash point in a vapor phase:



It is established that prediction of the boiling and flash points for one of tautomer forms gives unacceptable results. Boiling and flash points of the keto and enol tautomers of nitroacetic esters and isomeric mixtures was calculated by ACD/Lab 2014 and TEST programs. It was found that flash points of nitroesters can be predicted up to 1–4 degrees using the method of the carbon chain. Empirical equations $\text{FP} = -0,0833x^3 + 1,75x^2 - 4,5238x + 361,57$ (where x is number of carbon atoms in a molecule) has proposed for the convenience using of this method.

Keywords: esters; nitroacetate; flash point; predict; chemoinformatics.

REFERENCES

1. Todeschini R., Consonii V. Handbook of molecular descriptors. In: Mannhold R., Kubinyi H., Timmerman H. (eds.). *Methods and Principles in Medicinal Chemistry*. Darmstadt, Wiley-VCH Verlag GmbH, 2000, vol. 11. 667 p.

2. Todeschini R., Consonni V. *Molecular descriptors for chemoinformatics*. Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009, vol. I & II. 1265 p.
3. Gupta S. P. (ed.). *QSAR and Molecular Modeling Studies in Heterocyclic Drugs I*. In: Gupta R. R. (ed.). *Topics in Heterocyclic Chemistry*. Berlin, Springer-Verlag, 2006, vol. 3. 278 p.
4. Gupta S. P. (ed.). *QSAR and Molecular Modeling Studies in Heterocyclic Drugs II*. In: Gupta R. R. (ed.). *Topics in Heterocyclic Chemistry*. Berlin, Springer-Verlag, 2006, vol. 4. 296 p.
5. Dehmer M., Varmuza K., Bonchev D., Emmert-Streib F. (eds.). *Statistical modelling of molecular descriptors in QSAR/QSPR*. N. Y., Wiley-Blackwell, 2012. 456 p.
6. Roy K., Kar S., Das R. N. *A primer on QSAR/QSPR modeling. Fundamental concepts*. Heidelberg, Springer, 2015. 121 p.
7. Katritzky A. R., Kuanar M., Slavov S., Hall C. D., Karelson M., Kahn I., Dobchev D. A. Quantitative correlation of physical and chemical properties with chemical structure: utility for prediction. *Chemical Reviews*, 2010, vol. 110, no. 10, pp. 5714–5789. DOI: 10.1021/cr900238d.
8. Batov D. V. Ispolzovaniye additivno-gruppovogo metoda dlya analiza, sistematizatsii i prognozirovaniya pokazateley pozharoy opasnosti goryuchikh zhidkostey [Use of an additive and group method for the analysis, systematization and forecasting of indicators of fire hazard of combustible liquids]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal — Russian Chemical Journal*, 2014, vol. LVIII, no. 2, pp. 4–14.
9. 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.
10. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Alexeev K. S., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast III. Raschet cherez temperaturu kipeniya [Flash point. Part III. Calculation via boiling point]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 3, pp. 30–43.
11. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Alexeev K. S., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast IV. Deskriptornyy metod rascheta [Flash point. Part IV. Descriptors method of calculation]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 18–37.
12. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Metody prognozirovaniya osnovnykh pokazateley pozharovzryvoopasnosti organicheskikh soedineniy [Methods of forecasting major indices fire and explosive hazards of organic compounds]. *Tekhnosfernaya bezopasnost — Technosphere Safety*, 2015, no. 2(7). Available at: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal#> (Accessed 5 July 2015).
13. Batov D. V. *Termokhimiya rastvorov organicheskikh neelektrolitov v smeshannykh rastvoritelyakh*. Dis. dokt. khim. nauk [Thermochemistry of solutions of organic nonelectrolytes in the mixed solvents. Dr. chem. sci. diss.]. Ivanovo, 2002. 317 p.
14. Vinogradova M. G. *Raschetnyye metody issledovaniya vzaimosvyazi “struktura – svoystvo” v atom-atomnom predstavlenii*. Dis. dokt. khim. nauk [Calculation methods of research of interrelation “structure – property” in atom-nuclear representation. Dr. chem. sci. diss.]. Tver, 2004. 440 p.
15. Volkov L. P. *Novyye korrelyatsii fizicheskikh svoystv veshchestv, sposoby ikh opredeleniya, prognozirovaniya*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [New correlations of physical properties of substances, ways of their definition, forecasting. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Samara, 2005. 283 p.
16. Skvortsova M. I. *Matematicheskiye modeli i algoritmy v issledovaniyakh svyazi mezhdu strukturoy i svoystvami organicheskikh soedineniy*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical models and algorithms in researches of communication between structure and properties of organic compounds. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2007. 272 p.
17. Vasin A. Ya. *Vzaimosvyaz khimicheskogo stroyeniya i pozharovzryvoopasnosti organicheskikh krasiteley, lekarstvennykh sredstv i ikh aerovzvesey*. Dis. dokt. tekhn. nauk [Interrelation of a chemical structure and fire-and-explosion hazard of organic dyes, medicines and their aero suspensions. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, 2008. 306 p.
18. Kuznetsov M. A. *Nauchnyye osnovy prognozirovaniya i rascheta termodinamicheskikh svoystv nepolyarnykh uglevodorodov*. Dis. dokt. tekhn. nauk [Scientific bases of forecasting and calculation of thermodynamic properties of unpolar hydrocarbons. Dr. tech. sci. diss.]. Tambov, 2008. 325 p.
19. Baskin I. I. *Modelirovaniye svoystv khimicheskikh soedineniy s ispolzovaniyem iskusstvennykh neyronnykh setey i fragmentnykh deskriptorov*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [Modeling of properties of chemical compounds with use of artificial neural networks and fragmentary descriptors. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2009. 365 p.

20. Kirlan S. A. *Modelirovaniye i prognoz svoystv biologicheskii aktivnykh geterotsiklicheskih soyedineniy na osnove svyazi "struktura – aktivnost – toksichnost"*. Avtoref. dis. dokt. khim. nauk [Modeling and the forecast of properties of biologically active heterocyclic compounds on the basis of communication "structure – activity – toxicity". Dr. chem. sci. thesis]. Ufa, 2011. 49 p.
21. Grishina M. A. *Analiz i prognoz biologicheskoy aktivnosti soyedineniy na osnove fiziko-khimicheskikh zakonomernostey*. Avtoref. dis. dokt. khim. nauk [The analysis and the forecast of biological activity of connections on the basis of physical and chemical regularities. Dr. chem. sci. thesis]. Ufa, 2012. 42 p.
22. Krasnykh E. L. *Davleniye nasyshchennykh parov i entalpii ispareniya kislorodsoderzhashchikh soyedineniy. Modifitsirovannyi QSPR-metod prognozirovaniya ukazannykh svoystv*. Dis. dokt. khim. nauk [Pressure of saturated steam and enthalpy of evaporation oxygen of the containing connections. The modified QSPR — a method of forecasting of the specified properties. Dr. chem. sci. diss.]. Samara, 2015. 247 p.
23. Boridko V. S. *Programmnyy kompleks dlya prognozirovaniya svoystv slozhnykh organicheskikh soyedineniy na osnove analiza neodnoznachnykh zavisimostey "struktura – svoystvo"*. Dis. kand. tekhn. nauk [Program complex for forecasting of properties of difficult organic compounds on the basis of the analysis of ambiguous dependences "structure – property". Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2000. 107 p.
24. Artemenko N. V. *Prognozirovaniye lipofilnosti i drugikh fiziko-khimicheskikh svoystv organicheskikh soyedineniy s primeneniye fragmentnogo podkhoda i iskusstvennykh neyronnykh setey*. Dis. kand. khim. nauk [Forecasting of a lipofilnost and other physical and chemical properties of organic compounds with application of fragmentary approach and artificial neural networks. Cand. chem. sci. diss.]. Moscow, 2002. 193 p.
25. Ryzhov A. N. *Konformatsionnyy analiz alkanov v zadachakh "struktura – svoystvo"*. Dis. kand. khim. nauk [The conformational analysis of alkanes in tasks "structure – property". Cand. chem. sci. diss.]. Moscow, 2005. 180 p.
26. Kharitonova A. G. *Fiziko-khimicheskiye svoystva azotsoderzhashchikh geterotsiklicheskih soyedineniy. Svyaz "struktura – svoystvo"*. Avtoref. dis. kand. khim. nauk [Physical and chemical properties of nitrogen-containing heterocyclic compounds. Communication "structure – property". Cand. chem. sci. thesis]. Samara, 2005. 23 p.
27. Ivanova A. A. *Metodologiya postroyeniya kolichestvennykh modeley svyazi "struktura – svoystvo" dlya raznorodnykh vyborok organicheskikh soyedineniy*. Dis. kand. khim. nauk [Methodology of creation of quantitative models of communication "structure – property" for diverse selections of organic compounds. Cand. chem. sci. diss.]. Moscow, 2007. 186 p.
28. Zakharov A. V. *Prognoz kolichestvennykh svoystv organicheskikh soyedineniy na osnove deskriptorov atomnykh okrestnostey*. Dis. kand. biol. nauk [The forecast of quantitative properties of organic compounds on the basis of descriptors of nuclear vicinities. Cand. biol. sci. diss.]. Moscow, 2008. 120 p.
29. Anosova E. B. *Pozharovzryvoopasnost novykh farmatsevticheskikh preparatov i poluproduktov ikh sinteza*. Dis. kand. tekhn. nauk [Fire-and-explosion hazard of new pharmaceutical preparations and semi-products of their synthesis. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2009. 177 p.
30. Prokhorova P. E. *Sintez i svoystva karbonilproizvodnykh 1,2,3-tiadiazola*. Dis. kand. khim. nauk [Synthesis and properties of carbonyl derivatives of 1,2,3-tiadiazol. Cand. chem. sci. diss.]. Yekaterinburg, 2010. 159 p.
31. Vedenina N. V. *Analiz i prognozirovaniye ekologicheskoy opasnosti organicheskikh veshchestv*. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Analysis and forecasting of ecological danger of organic substances. Cand. tech. sci. thesis]. Volgograd, 2010. 22 p.
32. Perederin Yu. V. *Prognozirovaniye svoystv vysokoenergeticheskikh kompozitov s ispolzovaniyem informatsionnykh tekhnologiy*. Dis. kand. tekhn. nauk [Forecasting of properties of high-energy composites with use of information technologies. Cand. tech. sci. diss.]. Biysk, 2013. 179 p.
33. Nannoolal Y. *Methods for the estimation of critical properties, liquid vapour pressure and liquid viscosity of organic compounds*. Dr. Ph. Diss. University of Kwazulu-Natal, 2006. 463 p.
34. Goodman B. T. *Thermodynamic property prediction for solid organic compounds based on molecular structure*. Dr. Ph. Diss. Brigham Young University, 2010. 108 p.
35. Rowley J. *Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction*. Dr. Ph. Diss. Brigham Young University, 2010. 261 p.
36. Gebreyohannes S. *Quantitative structure-property relationship generalized activity coefficient models*. Dr. Ph. Diss. Oklahoma State University, 2014. 177 p.

37. Yerramsetty K. M. *Quantitative structure-property relationship modeling & computer-aided molecular design: Improvements & applications*. Dr. Ph. Diss. Birla Institute of Technology and Science Pilani, 2005. 292 p.
38. Krein M. *On the development and use of large chemical similarity networks, informatics best practices and novel chemical descriptors towards materials quantitative structure property relationships*. Dr. Ph. Diss. Faculty of Rensselaer Polytechnic Institute, 2011. 207 p.
39. Sirimulla S. *Computer aided drug design methods & quantitative structure-activity/property relationships*. Dr. Ph. Diss. University of Texas at El Paso, 2010. 112 p.
40. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. 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.
41. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. 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.
42. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. III. Ketony (chast 2) [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.
43. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. 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.
44. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. V. Karbonovyye kisloty [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. V. Carboxylic acids]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 35–46.
45. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. 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.
46. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. 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.
47. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VIII. Esters (part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 31–57.
48. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. IX. Khloroalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. IX. Chloroalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 13–21.
49. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Zhivotinskaya L. O., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy 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*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 9–19.
50. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Kalach A. V. Svyaz pokazateley pozharnoy 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.
51. Alexeev S. G., Mavlyutova L. K., Koshelev A. Yu., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy 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.
52. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharnoy 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.

53. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy 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.
54. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. XV. Tioefiry [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XV. Thioethers]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 11, pp. 24–33.
55. Alexeev S. G., Koshelev A. Yu., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. XVI. α,ω -Aminospirty [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XVI. α,ω -Alkanolamines]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 13–19.
56. Alexeev S. G., Mavlyutova L. K., Koshelev A. Yu., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. XVII. Dikhloralpany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XVII. Dichloroalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 1, pp. 25–39.
57. Alexeev S. G., Koshelev A. Yu., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. XVIII. Alkilnyye proizvodnyye aminometanola [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XVIII. Alkyl derivatives of aminomethanol]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 2, pp. 36–44.
58. Alexeev S. G., Barbin N. M., Avdeev A. S., Pishchalnikov A. V., Orlov S. A., Ulomskiy E. N., Artemyev G. A. Pokazateli pozharovzryvopasnosti nitrouksusnogo efira [Fire-and-explosion hazard characteristics of nitroacetic ether]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 5, pp. 48–53.
59. Alexeev S. G., Barbin N. M., Avdeev A. S., Pishchalnikov A. V., Orlov S. A., Ulomsky E. N. Pokazateli pozharovzryvopasnosti protivovirusnogo preparata triazavirina i poluproduktov yego sinteza [Fire and explosion hazard characteristics of the antiviral drug triazavirin and semi-products of its synthesis]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 3, pp. 46–48.
60. Sutherland I. O. (ed.). Nitrogen compounds. In: Barton D., Ollis U. D. (eds.). *Comprehensive Organic Chemistry. The Synthesis and Reactions of Organic Compounds*. Oxford, Pergamon Press, 1979, vol. 2. 1329 p. (Russ. ed.: Sazerlend I. O. (ed.). Azotsoderzhashchiye soyedineniya. *Obshchaya organicheskaya khimiya*. Moscow, Khimiya Publ., 1982, vol. 3. 736 p.).

For citation: Alexeev S. G., Koshelev A. Yu., Barbin N. M., Spiridonov M. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. XIX. Nitroatsetaty [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XIX. Nitroacetates]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 17–27. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.17-27.

О. В. БЕЗЗАПОННАЯ, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник адъюнктуры, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: bezzaponnay@mail.ru)

А. Ю. АКУЛОВ, канд. техн. наук, начальник адъюнктуры, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

О. А. МОКРОУСОВА, д-р пед. наук, начальник кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

И. А. КАЙБИЧЕВ, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры математики и информатики, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

Н. В. ХАБИБУЛЛИНА, канд. с.-х. наук, научный сотрудник адъюнктуры, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

Л. О. ЖИВОТИНСКАЯ, старший научный сотрудник адъюнктуры, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

УДК 614.835:66.061

ТЕМПЕРАТУРА ВСПЫШКИ БИНАРНЫХ СМЕШАННЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ И ВЛИЯНИЕ НА НЕЕ ОБРАЗОВАНИЯ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВОДОРОДНЫХ СВЯЗЕЙ

Исследованы смешанные бинарные растворители на основе *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов. В качестве второго компонента бинарных растворителей исследованы полярные органические жидкости (уксусная кислота, гептанол, нитробензол) и неполярные (триэтанолламин), а также 5 %-ный раствор ПАВ (додецилсульфат натрия). Показано, что наибольший эффект повышения температуры вспышки достигается при использовании уксусной кислоты и гептилового спирта: для бутилового и пропилового спиртов в первом случае он составляет 18,6 и 21,3 % соответственно, что обусловлено полярностью молекул и способностью образовывать межмолекулярные водородные связи с молекулами пропанола и бутанола.

Ключевые слова: смешанные растворители; легковоспламеняющиеся жидкости; температура вспышки; пожарная опасность; межмолекулярные водородные связи.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.28-34

Большинство растворителей, применяемых в различных отраслях промышленности, являются легковоспламеняющимися жидкостями. В связи с этим проблема обеспечения пожарной безопасности на предприятиях, использующих растворители, остается актуальной, несмотря на разрабатываемые профилактические мероприятия по ее снижению.

По целому ряду причин в некоторых отраслях промышленности применяют не чистые (индивидуальные) растворители, а их смеси. При разработке смесей растворителей преследуются следующие цели: создание оптимальных условий процесса пленкообразования, реализация гидрофильно-гидрофобного баланса для возможности удаления как гидрофильных, так и гидрофобных загрязнений, корректировка вязкости, экономичность и др. [1]. Высокая пожарная опасность растворителей — это еще одна важная причина, по которой целесообразно использовать именно смешанные растворители с целью снижения их пожарной опасности.

Показатели пожарной опасности связаны как между собой, так и с другими физико-химическими свойствами. На показатели пожарной опасности в первую очередь влияет химический состав растворителя. Зная зависимость показателей пожарной опасности от химического состава, можно прогнозировать пожароопасные свойства растворителей, а также разрабатывать новые составы, которые характеризовались бы меньшей пожарной опасностью.

Показатели пожарной опасности коррелируют с теплотой испарения растворителя, которая, в свою очередь, при невысоких температурах зависит от степени ассоциации молекул растворителя, а следовательно, от его химической природы. Образование ассоциатов между компонентами растворителя способствует повышению энергии связей молекул в целом и удержанию их в конденсированном состоянии, что обусловлено наличием в молекулах растворителей гидроксильных групп, способствующих образованию водородных связей. Нами проведен анализ

влияния водородных связей на снижение температуры вспышки смешанных бинарных растворителей.

Как правило, энергия межмолекулярных водородных связей имеет невысокие значения (порядка 4–25 кДж/моль), что составляет примерно 1–5 % от величины энергии ковалентных химических связей, однако в совокупности они вносят большой вклад в общую энергию связей образующихся ассоциатов. Способность к образованию межмолекулярных водородных связей определяется полярностью молекул, т. е. электрическим моментом диполя. Полярность молекулы тем выше, чем больше абсолютная величина заряда и длина диполя. Чем выше полярность молекул, тем больше их склонность к образованию межмолекулярных связей и, следовательно, тем выше будет температура кипения, а значит, и температуры вспышки и воспламенения. Например, температуры кипения у альдегидов и кетонов выше, чем у углеводородов-аналогов (близких к ним по молекулярной массе), поскольку карбонильные соединения более полярны и диполь-дипольное притяжение между их молекулами сильнее.

В работах [2, 3] рассматривалась зависимость температуры воспламенения различных классов органических соединений от количества атомов углерода в цепи. Рассмотрим влияние химической природы органических веществ на температуру их вспышки. Для анализа изменения температур вспышки в гомологических рядах различных классов органических веществ использованы справочные данные [4, 5]. Результаты исследований представлены на рис. 1.

Температура вспышки так же, как и температура воспламенения [2], повышается при увеличении количества атомов углерода в цепи (выполняется правило углеродной цепи). Повышение температур вспышки и воспламенения наблюдается в такой последовательности: предельные углеводороды → кетоны → альдегиды → спирты → карбоновые кислоты, что можно объяснить увеличением длины ди-

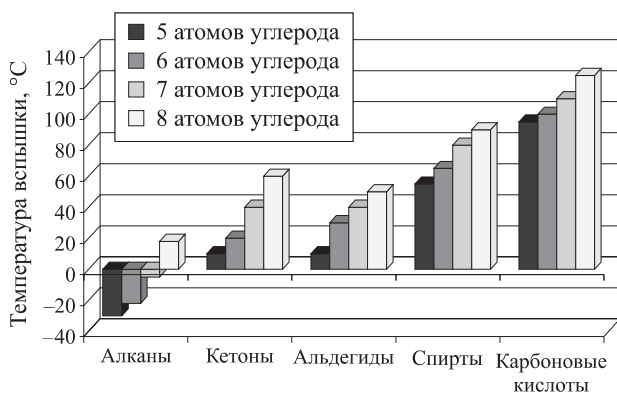


Рис. 1. Диаграмма изменения температуры вспышки жидкостей различных классов органических соединений в зависимости от количества атомов углерода в цепи

поля и, как следствие, дипольного момента молекул. Это приводит к усилению межмолекулярных водородных связей, удерживающих молекулы в жидком состоянии и способствующих повышению теплоты испарения, температуры кипения, а также температур вспышки и воспламенения органических жидкостей.

Таким образом, самыми высокими температурами вспышки характеризуются предельные спирты и одноосновные карбоновые кислоты. Это вызвано образованием межмолекулярных водородных связей между положительно заряженным водородом гидроксильной группы одной молекулы и отрицательно заряженным кислородом другой молекулы, что повышает энергию связи молекул в целом и способствует их удержанию в жидком состоянии [2]. Полученный результат привел к предположению, что введение добавок спирта или карбоновой кислоты к растворителям, способным образовывать с ними межмолекулярные водородные связи, должно вызывать повышение температуры вспышки. Для подтверждения данной гипотезы были проведены экспериментальные исследования с использованием прибора “Закрытый тигель” (ТВЗ) в соответствии с ГОСТ 12.1.044–89.

В ходе исследований бинарный смешанный растворитель наливали в тигель прибора ТВЗ до кольцевой метки (60 мл), закрывали крышкой и устанавливали термометр для определения температуры жидкости. Испытуемую жидкость нагревали в тигле со скоростью 1–2 °С/мин при непрерывном перемешивании. Испытания на вспышку проводили с шагом 1 °С. За температуру вспышки принимали минимальную температуру испытуемой жидкости, при которой происходила вспышка ее паров. Эксперимент проводили 3 раза и определяли среднее значение температуры вспышки.

Анализ справочных данных [4, 5] показал, что среди органических соединений карбоновые кислоты и спирты наиболее склонны к образованию межмолекулярных водородных связей. Поэтому в качестве второго компонента смешанных растворителей на основе *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов использовали уксусную кислоту с температурой вспышки $t_{всп} = 40$ °С, гептиловый спирт с $t_{всп} = 74$ °С и нитробензол с $t_{всп} = 88$ °С. Последний отличается высоким дипольным моментом и способностью образовывать межмолекулярные водородные связи с полярными органическими соединениями за счет смещения электронной плотности и повышения значения отрицательного заряда на атоме кислорода. Были проведены также исследования добавок 5 %-ного раствора поверхностно-активного вещества (ПАВ) (додецилсульфата натрия), мицеллы которого способны образовывать ассоциаты с молекулами растворителя. В качестве контрольных образцов использовали

дистиллированную воду. Для сравнения эффекта повышения температуры вспышки при введении полярных и неполярных органических жидкостей исследовали триэтаноламин, который характеризуется высокой температурой вспышки ($t_{\text{всп}} = 179^\circ\text{C}$), но является неполярной жидкостью.

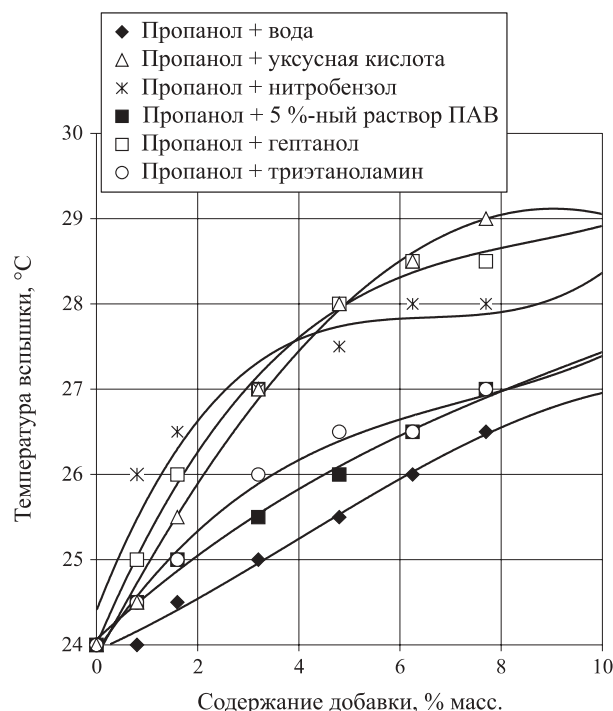


Рис. 2. Зависимость температуры вспышки смешанного растворителя на основе *n*-пропилового спирта от содержания добавки веществ различной химической природы

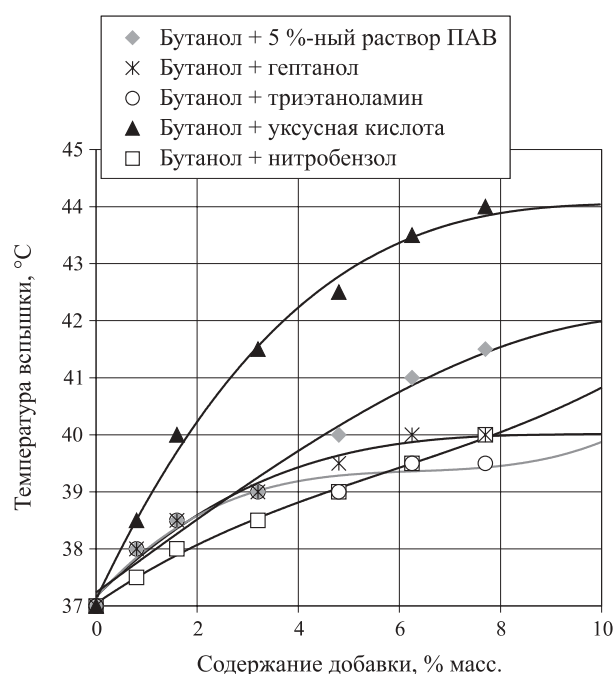


Рис. 3. Зависимость температуры вспышки смешанного растворителя на основе *n*-бутилового спирта от содержания добавки веществ различной химической природы

Результаты исследований температуры вспышки смешанных бинарных растворителей на основе *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов представлены на рис. 2 и 3.

Полученные экспериментальные зависимости удовлетворительно описываются полиномиальными кривыми 3-го порядка (достоверность аппроксимации $R^2 > 0,98$).

Для объяснения эффекта повышения температуры вспышки при содержании второго компонента растворителя (уксусной кислоты, гептанола, нитробензола, триэтаноламина) провели расчет температур вспышки $t_{\text{всп}}^{\text{см}}$ ($^\circ\text{C}$) для бинарных смесей растворителей по формуле

$$t_{\text{всп}}^{\text{см}} = \frac{A t_A + B t_B - f(t_A - t_B)}{100},$$

где B — концентрация компонентов смеси, % масс.;

A — то же, с более высокой температурой вспышки, % масс.;

t_A, t_B — температуры вспышки компонентов смеси, $^\circ\text{C}$;

f — коэффициент, зависящий от состава смеси и определяемый по таблице.

В ходе анализа полученных экспериментальных и расчетных значений температур вспышки смешанных растворителей было отмечено существенное отклонение от аддитивности. Это свидетельствует о том, что повышение температуры вспышки происходит не только за счет введения второго компонента с высокой температурой вспышки. Объяснением этого отклонения, по мнению авторов, служит прежде всего образование между молекулами основного компонента растворителя (*n*-пропилового или *n*-бутилового спирта) и молекулами второго компонента межмолекулярных водородных связей, способствующих структурированию образующихся ассоциатов. Возникновение дополнительных меж-

Значение коэффициента f в зависимости от процентного состава смеси

A , % масс.	B , % масс.	f	A , % масс.	B , % масс.	f
0	100	0,0	55	45	27,6
5	95	3,3	60	40	29,0
10	90	6,5	65	35	30,0
15	85	9,2	70	30	30,3
20	80	11,9	75	25	30,4
25	75	14,5	80	20	29,2
30	70	17,0	85	15	26,0
35	65	19,4	90	10	20,0
40	60	21,7	95	5	12,0
45	55	23,9	100	—	0,0
50	50	25,9			

молекулярных связей способствует удержанию молекул в конденсированном состоянии и повышению температуры вспышки. Результаты анализа согласуются с выводами авторов [6–10], полученными при исследованиях зависимости температуры вспышки от состава, в частности для неидеальных растворов. В работе [10] отмечается влияние на температуру вспышки энтальпии смешения бинарных растворов.

Использование расчетных данных позволяет оценить эффект повышения температуры вспышки за счет разбавления (смешения), а расчетных и экспериментальных данных — за счет образования межмолекулярных связей. Таким образом, сравнение расчетных значений температур вспышки и экспериментальных данных дает возможность оценить эффект повышения температуры вспышки только за счет образования межмолекулярных водородных связей. В наибольшей степени этот эффект выражен при использовании в качестве второго компонента растворителя уксусной кислоты, так как карбоновые кислоты отличаются высоким дипольным моментом, т. е. являются полярными жидкостями, склонными образовывать межмолекулярные водородные связи. Использование смешанных растворителей на основе пропанола с содержанием уксусной кислоты в количестве 8,0 % масс. дает повышение температуры вспышки пропанола на 21,3 %, что позволяет снизить пожарную опасность растворителя. Введение добавок гептанола приводит к тому, что эффект повышения температуры вспышки проявляется в меньшей степени, чем в опыте с уксусной кислотой, что хорошо согласуется с выводами, полученными при анализе литературных и справочных данных. Анализ экспериментальных зависимостей показал, что введение добавок нитробензола приводит к меньшему эффекту повышения температуры вспышки, чем в опыте с уксусной кислотой. Эффект от введения 8 % масс. нитробензола для пропанола составил 16,7 %, для бутанола — 9,5 %, а эффект за счет образования межмолекулярных связей — соответственно 9,5 и 5,8 %. В случае с пропанолом высокий эффект повышения температуры вспышки достигался при введении гептанола и нитробензола (18,8 и 16,7 % соответственно).

Сравнение кривых зависимости температуры вспышки от содержания добавки для ПАВ и дистиллированной воды показало, что эффект повышения температуры вспышки смешанного растворителя на основе пропанола вызван в основном разбавлением водой. По-видимому, образование межмолекулярных связей между молекулами ПАВ и основного компонента растворителя большой роли в повышении температуры вспышки не играет.

Диаграммы эффекта повышения температуры вспышки от введения уксусной кислоты к бутанолу

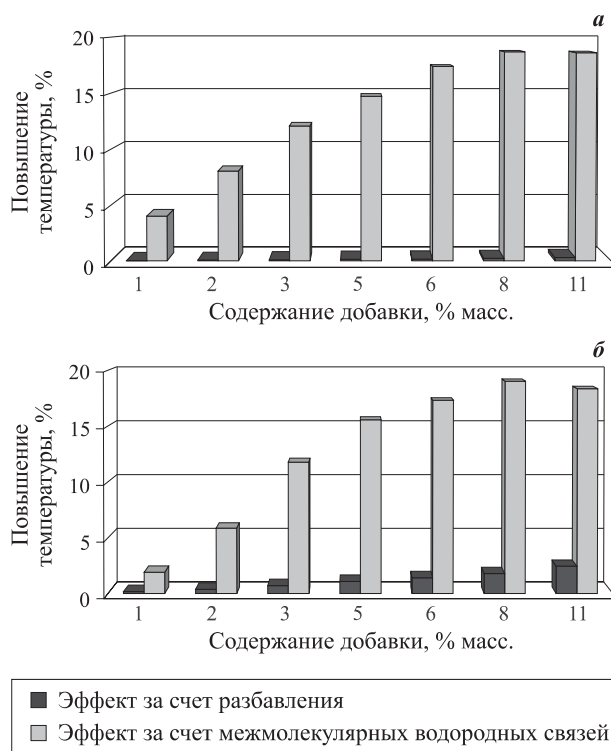


Рис. 4. Эффект повышения температуры вспышки от содержания добавки уксусной кислоты в *n*-бутиловом (а) и *n*-пропиловом (б) спиртах

и пропанолу (рис. 4) позволили оценить оптимальное содержание второго компонента в смешанных растворителях.

Анализ диаграмм на рис. 4 показал, что оптимальное содержание уксусной кислоты в смешанных растворителях на основе пропилового и бутилового спиртов составляет 8 % масс. При дальнейшем повышении содержания добавки температура вспышки смешанных растворителей растет практически только за счет разбавления смеси. Установлено, что оптимальное содержание добавки гептанола и нитробензола составляет 6 % масс.

Для подтверждения гипотезы влияния образования межмолекулярных водородных связей между полярными жидкостями смешанных растворителей были проведены исследования температуры вспышки смешанных растворителей, в которых в качестве второго компонента использовали неполярную жидкость — триэтанолмин. Анализ полученных результатов показал, что расчетные значения температур вспышки смешанного растворителя с добавками триэтанолмина оказались даже выше экспериментальных. Это свидетельствует об отсутствии межмолекулярных водородных связей в силу малой полярности молекул триэтанолмина, а также влияния стерического фактора (расположения молекул в пространстве и их геометрии). Поскольку молекула триэтанолмина является объемной, образование межмолекулярных связей весьма затруднительно. Эффект повышения

температуры вспышки смешанного растворителя на основе пропанола при введении 8 % масс. триэтанол-амина составил 12,5 %, а на основе бутанола — 6,8 %, при этом эффект повышения температуры вспышки за счет образования межмолекулярных связей отсутствовал.

Сравнение экспериментальных кривых, полученных при введении 5 %-ного раствора ПАВ (додецил-сульфата натрия) и дистиллированной воды, показало, что эффект повышения температуры вспышки смешанного растворителя на основе бутанола с добавкой 8 %-ного раствора ПАВ за счет образования межмолекулярных водородных связей составил 5,4 %, а на основе пропанола — 2,1 % по сравнению с общим эффектом — 12,2 и 12,5 % соответственно. Это свидетельствует о незначительной роли межмолекулярных водородных связей в снижении пожарной опасности растворителя.

Выводы

В результате экспериментальных исследований определены температуры вспышки смешанных би-

нарных растворителей на основе *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов. В качестве второго компонента исследованы полярные (уксусная кислота, гептанол, нитробензол) и неполярные (триэтанол-амин) жидкости, а также 5 %-ный раствор ПАВ (додецил-сульфат натрия).

Экспериментально подтверждена гипотеза о влиянии на температуру вспышки образования межмолекулярных водородных связей между молекулами основного компонента растворителя и молекулами второго компонента. Установлено, что оптимальное содержание второго компонента смешанного растворителя составляет 8 % масс. Наибольший эффект повышения температуры вспышки смешанных растворителей на основе *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов обнаружен при использовании в качестве второго компонента растворителя уксусной кислоты. В связи с этим уксусную кислоту можно рекомендовать для использования в качестве добавки к *n*-бутиловому и *n*-пропиловому спиртам с целью повышения температуры вспышки растворителя (на 18,6 и 21,3 % соответственно).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уразаев В. И. Растворители // Технологии в электронной промышленности. — 2006. — № 2. — С. 14–19.
2. Беззапонная О. В. Влияние образования межмолекулярных водородных связей в бинарных растворителях на температуру их воспламенения // Техносферная безопасность. — 2014. — № 1(2). — С. 2–6. URL : <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> (дата обращения: 04.04.2015).
3. Беззапонная О. В. Исследование влияния межмолекулярных водородных связей в бинарных растворителях на температуру их воспламенения // Техносферная безопасность. — 2015. — № 1(6). — С. 9–13. URL : <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> (дата обращения: 04.04.2015).
4. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — В 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 1 — 713 с.
5. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — В 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004. Ч. 2. — 774 с.
6. Liaw H.-J., Chiu Y.-Y. The prediction of the flash point for binary aqueous-organic solutions // Journal of Hazardous Materials. — 2003. — Vol. 101, No. 2. — P. 83–106. DOI: 10.1016/S0304-3894(03)00168-7.
7. Catoire L., Paulmier S., Naudet V. Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends // Journal of Physical and Chemical Reference Data. — 2006. — Vol. 35, No. 1. — P. 9–14. DOI: 10.1063/1.1928236.
8. Vidal M., Rogers W. J., Mannan M. S. Prediction of minimum flash point behavior for binary mixtures // Process Safety and Environmental Protection. — 2006. — Vol. 84, No. 1. — P. 1–9. DOI: 10.1205/psep.05041.
9. Liaw H.-J., Lin S.-C. Binary mixtures exhibiting maximum flash-point behavior // Journal of Hazardous Materials. — 2007. — Vol. 140, No. 1–2. — P. 155–164. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.06.050.
10. Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Исследование температуры вспышки бинарных неводных смесей жидкостей с положительным и отрицательным отклонениями от закона Рауля // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 1. — С. 25–29.

Материал поступил в редакцию 9 апреля 2015 г.

Для цитирования: Беззапонная О. В., Акулов А. Ю., Мокроусова О. А., Кайбичев И. А., Хабиллина Н. В., Животинская Л. О. Температура вспышки бинарных смешанных растворителей и влияние на нее образования межмолекулярных водородных связей // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 28–34. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.28-34.

FLASH POINT OF BINARY MIXED SOLVENTS AND EFFECT ON ITS FORMATION INTERMOLECULAR HYDROGEN BONDS

BEZZAPONNAYA O. V., Candidate of Technical Sciences, Associated Professor, Senior Researcher of Adjuncture, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: bezzaponnay@mail.ru)

AKULOV A. Yu., Candidate of Technical Sciences, Head of Adjuncture, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

MOKROUSOVA O. A., Doctor of Pedagogical Sciences, Head of Fire Safety in Construction Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

KAYBICHEV I. A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Mathematics and Informatics Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

KHABIBULLINA N. V., Candidate of Agricultural Sciences, Researcher of Adjuncture, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

ZHIVOTINSKAYA L. O., Senior Researcher of Adjuncture, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

ABSTRACT

Binary mixed solvents based on propanol-1 and butanol-1 alcohols were investigated. As a second component of binary solvent polar organic liquids (acetic acid, heptanol, nitrobenzene) and nonpolar (triethanolamine) and 5 % solution of surfactant (sodium dodecyl sulphate) were investigated.

The optimum content of the second component in the mixed solvent was 8 %. The greatest effect in increasing the flash point is achieved using acetic acid and heptyl alcohol. When using acetic acid, the temperature raising effect flashes propyl and butyl alcohol was 18,6 and 21,3 %, respectively. This is due to the polarity of the molecules and the ability to form intermolecular hydrogen bonds with the molecules of propanol and butanol.

Addition of a 5 % solution of sodium dodecylsulfate resulted in increase of point flash butanol-1 and propanol-1 on 12,2 and 12,5 %. Analysis of experiments with triethanolamine was proved the influence of intermolecular hydrogen bonds on the flash point for polar liquids. The use of mixed solvents allows to reduce fire danger.

Keywords: mixed solvents; flammable liquids; flash points; fire danger; intermolecular hydrogen bonds.

REFERENCES

1. Urazaev V. I. Rastvoriteli [Solvents]. *Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti — Technology in the Electronics Industry*, 2006, no. 2, pp. 14–19.
2. Bezzaponnaya O. V. Vliyaniye obrazovaniya mezhmolekulyarnykh vodorodnykh svyazey na temperaturu ikh vosplameneniya [Influence of formation of intermolecular hydrogen bonds in binary solvents on temperatures of ignition] *Tekhnosfernaya bezopasnost — Technosphere Safety*, 2014, vol. 1(2), pp. 2–6. Available at: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> (Accessed 4 April 2015).
3. Bezzaponnaya O. V. Issledovaniye vliyaniya mezhmolekulyarnykh vodorodnykh svyazey na temperaturu ikh vosplameneniya [Research of the influence of intermolecular hydrogen bonds in binary solvents on temperature of their ignition]. *Tekhnosfernaya bezopasnost — Technosphere Safety*, 2015, vol. 1(6), pp. 9–13. Available at: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal> (Accessed 4 April 2015).
4. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part 1, 713 p.
5. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part 2, 774 p.

6. Liaw H.-J., Chiu Y.-Y. The prediction of the flash point for binary aqueous-organic solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 2003, vol. 101, no. 2, pp. 83–106. DOI: 10.1016/S0304-3894(03)00168-7.
7. Catoire L., Paulmier S., Naudet V. Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 2006, vol. 35, no. 1, pp. 9–14. DOI: 10.1063/1.1928236.
8. Vidal M., Rogers W. J., Mannan M. S. Prediction of minimum flash point behavior for binary mixtures. *Process Safety and Environmental Protection*, 2006, vol. 84, no. 1, pp. 1–9. DOI: 10.1205/psep.05041.
9. Liaw H.-J., Lin S.-C. Binary mixtures exhibiting maximum flash-point behavior. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, vol. 140, no. 1–2, pp. 155–164. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.06.050.
10. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. *Issledovaniye temperatury vspyshki binarnykh nevodnykh smesey zhidkostey s polozhitelnym i otritsatelnyim otkloneniyami ot zakona Raulya* [Flash point study of binary nonaqueous mixtures of liquids with positive and negative deviations from the Raoult's law]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 25–29.

For citation: Bezzaponnaya O. V., Akulov A. Yu., Mokrousova O. A., Kaybichev I. A., Khabibullina N. V., Zhivotinskaya L. O. Temperatura vspyshki binarnykh smeshannykh rastvoriteley i vliyaniye na neye obrazovaniya mezhmolekulyarnykh vodorodnykh svyazey [Flash point of binary mixed solvents and effect on its formation intermolecular hydrogen bonds]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 28–34. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.28-34.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает книгу

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

А. Я. КОРОЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: kr139@ya.ru)

Д. П. ГЕТАЛО, инженер по пожарной безопасности в строительстве, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: dgetalo@mail.ru)

УДК 614.841.332;699.812

ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ ШТОРЫ (ОБЗОР). Часть 2*

5. Пропускание теплового излучения

Пропускание теплового излучения от очага пожара характеризуется периодом времени, в течение которого противопожарные шторы сохраняют свои теплоизолирующие свойства. Обозначается этот параметр “Т” и измеряется в минутах.

Критерием задержки теплового излучения является достижение температуры 220 °С на необогреваемой поверхности огнезащитной шторы. Обозначение Т 60 означает, что штора задерживает тепловое излучение в течение 60 мин.

Теплоизолирующая способность огнезащитных штор зависит от вида материала, из которого они изготовлены, и толщины полотна.

Противопожарные функции шторы могут выполнять при температурах пожара до 1200 °С.

Мероприятия, которые позволяют увеличить время задержки шторами проникающего теплового излучения, описаны в разд. 9.

5.1. Защита от теплового излучения

Настоящая работа посвящена изучению эффективности противопожарных штор из базальтового волокна по защите от теплового излучения.

С этой целью были проведены испытания некоторых огнезащитных материалов (стеклянного волокна, кремнеземной ткани и базальтового полотна) на пропускание теплового излучения.

Тепловым излучением называется процесс распространения внутренней энергии излучением электромагнитных волн в видимой и инфракрасной областях спектра. Длина волны видимого излучения составляет от 0,38 до 0,77 мкм, инфракрасного — более 0,77 мкм.

Для теплового излучения воздух прозрачен, поэтому при прохождении лучистого тепла через воздух температура его не повышается. Тепловые лучи

поглощаются окружающими очаг пожара предметами (в том числе противопожарными шторами), которые, в свою очередь, становятся излучателями тепла.

Интенсивность теплового излучения Q (Вт/м²) может быть определена по формуле

$$Q = 0,78F \left[\frac{(T_0/100)^4 - 110}{L^2} \right], \quad (3)$$

где F — площадь излучающей поверхности, м²;

T_0 — температура излучающей поверхности, К;

L — расстояние от излучающей поверхности до огнезащитной шторы, м.

Как следует из формулы (3), количество поглощаемого (передаваемого) лучистого тепла зависит от интенсивности теплового излучения очага пожара, его размеров и квадрата расстояния между очагом пожара и огнезащитной шторой.

Допустимыми значениями интенсивности теплового излучения от очага пожара являются такие значения, при которых температура на необогреваемой стороне противопожарной шторы не превышает 160 °С, так как при этой температуре возможно самовоспламенение большинства органических материалов. На практике одним из способов борьбы с тепловым излучением является экранирование очага пожара. Наиболее эффективно для этих целей применение противопожарных штор из непрозрачных материалов. В таких шторах поглощаемая энергия электромагнитных колебаний, взаимодействуя с материалом экрана, превращается в тепловую энергию и сама становится источником теплового излучения.

По принципу действия противопожарные шторы подразделяются на теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие. В связи с тем что каждый экран обладает одновременно способностью отражать, поглощать и отводить тепло, отнесение экрана к той или иной группе производится в зави-

* Продолжение. Начало см. в журнале “Пожаровзрывобезопасность” № 4 за 2015 г.

симости от того, какие его свойства выражены наиболее сильно.

Оценить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов можно по формуле

$$n = \frac{Q - Q_3}{Q} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где Q, Q_3 — интенсивность теплового излучения без применения и с применением защиты, Вт/м².

5.2. Описание испытательного стенда

Внешний вид стенда (рис. 14), применяемого для оценки эффективности огнезащитных материалов, соответствует установке, разработанной в Московском государственном техническом университете гражданской авиации для исследования защиты от теплового излучения.

Стенд представляет собой стол со столешницей 1, на которой размещаются бытовой электрокамин 2, индикаторный блок 3, линейка 4, стойки 5 для установки сменных защитных экранов 6, стойка 8 для установки измерительной головки 7 измерителя тепловых потоков. Стойки 5 обеспечивают оперативную установку и замену сменных экранов, имеющих один типоразмер — 1,5×1,0 м.

Измерительная головка 7 с помощью винтов крепится к вертикальной стойке 8, расположенной на плоском основании 1. Вся эта конструкция может перемещаться по столешнице вдоль миллиметровой линейки 4, которая предназначена для измерения расстояния от источника теплового излучения (электрокамина 2) до измерительной головки 7 и жестко закреплена на столешнице.

На столешнице расположен также удлинитель 9 для подключения к сети переменного тока электрокамина 2.

5.3. Порядок проведения испытаний материалов

Принимаются следующие исходные данные: очаг пожара — пролив бензина площадью 10 м²; среднесплошностная плотность теплового излучения в период развивающегося пожара 60 кВт/м².

Сначала включают источник теплового излучения (один выключатель на верхней части электрокамина) и измеритель теплового потока ИПП-2.М. Затем устанавливают головку измерителя теплового потока в штативе таким образом, чтобы она была смещена относительно стойки на 100 мм. Вручную перемещают штатив вдоль линейки, меняя тем самым расстояние между головкой измерителя и источником теплового излучения и снимая при каждом новом положении головки показания с измерителя теплового потока ИПП-2.М.

Данные замеров заносят в таблицу. Интенсивность теплового излучения в выбранных точках опре-

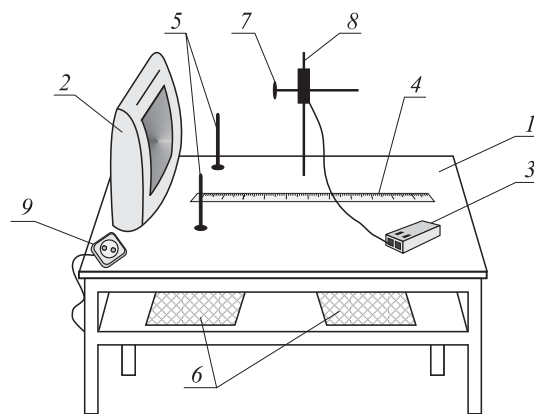


Рис. 14. Внешний вид испытательного стенда

деляют как среднее значение не менее чем из пяти замеров. На основе полученных данных строят график зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от расстояния.

Устанавливая различные защитные экраны, определяют интенсивность теплового излучения на заданных расстояниях.

Оценивают эффективность защитного действия экранов по формуле (4):

$$n = \frac{60 - 50}{60} \cdot 100 \% = 16 \%;$$

$$n = \frac{60 - 40}{60} \cdot 100 \% = 33 \%;$$

$$n = \frac{60 - 30}{60} \cdot 100 \% = 50 \%;$$

$$n = \frac{60 - 20}{60} \cdot 100 \% = 66 \%;$$

$$n = \frac{60 - 10}{60} \cdot 100 \% = 88 \%.$$

Результаты расчетов эффективности защиты от излучения противопожарными шторами из стекловолокна приведены в табл. 4.

При повышении интенсивности теплового излучения за преградой (противопожарной шторой) во время пожара наступает предел огнестойкости по критерию потери теплоизолирующей способно-

Таблица 4. Результаты расчетов эффективности защиты от излучения противопожарными шторами из стекловолокна

Интенсивность теплового излучения, кВт/м ²		Эффективность огнезащиты, %
без применения защиты	с применением защиты	
60	50	16
60	40	33
60	30	50
60	20	66
60	10	88

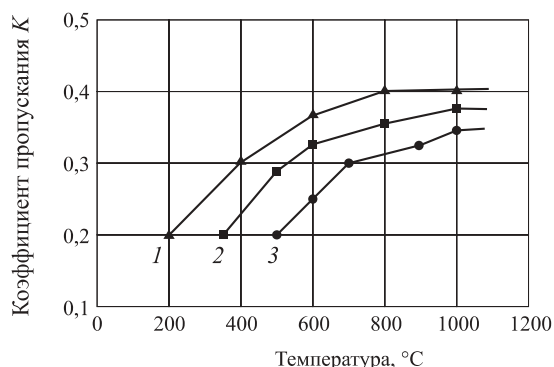


Рис. 15. Зависимость коэффициента пропускания K штор из базальтового волокна (1), кремнеземной ткани (2) и стекловолокна (3) от температуры очага пожара

Таблица 5. Сравнительные показатели основных физических свойств негорючих материалов без связующего

Показатель	Базальтовое волокно МПБОР-5-1Ф	Стекловолокно Е	Кремнеземный материал КА-600-ТА
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,038	0,036–0,041	0,034
Температура применения, °C	1450	До 600	1200
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°C)	0,84	0,84	1,05/1,047
Примечания: 1. Для базальтового волокна и стекловолокна удельная теплоемкость приведена при нормальных условиях. 2. Для кремнеземного материала над чертой дана удельная теплоемкость при 540 °C, под чертой — при 1000 °C.			

сти (далее — критерий I), что приводит к прекращению выполнения шторой огнезащитных функций. Это обусловлено постепенным прогревом полотна шторы и повышением температуры на необогреваемой стороне.

По результатам оценки эффективности штор из различных материалов построим графики (рис. 15).

Сравнительные показатели основных физических свойств материалов, влияющих на эффективность защиты, приведены в табл. 5.

6. Управление шторами

В исходном положении полотно преграды намотано на вал. При поступлении сигнала от автоматической пожарной сигнализации или от извещателей различных типов на блок управления производится опускание полотна.

Подъем полотна в верхнее положение при получении сигнала осуществляется электроприводом, который может размещаться как с левой, так и с правой стороны преграды. При падении напряжения питание обеспечивается от резервного источника.



Рис. 16. Общий вид противопожарной шторы с блоком управления

Управление противопожарными шторами может осуществляться следующими способами:

- при помощи электромотора — блоков управления (рис. 16) в автоматическом и дистанционном (от кнопок на пульте управления) режимах. Электродвигатель шторы оснащен электрическим встроенным тормозом, который в нормальных условиях (при отсутствии сигналов тревоги) находится под напряжением и блокирует вал электродвигателя, удерживая штору в поднятом положении;
- под действием собственного веса (если отключаются все источники питания). В автоматическом режиме (при работе установленных в блок управления аккумуляторов) штора опускается со скоростью 0,15 м/с.

Опускание шторы происходит без ускорения за счет саморегулирующегося электромагнитного устройства, вмонтированного в мотор. Блок управления предназначен для управления электроприводом противопожарной огнедымозащитной шторы в автоматическом и ручном режимах работы. В устройстве предусмотрена задержка включения, а также выносные кнопочные посты для подъема штор с целью обеспечить возможность выхода людей из отсекаемой зоны при срабатывании пожарной сигнализации.

7. Огнестойкость противопожарных штор

В России требования по огнестойкости противопожарных преград установлены Федеральным законом № 123-ФЗ (Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности) и являются обязательными для исполнения. Согласно требованиям ФЗ № 123 предел огнестойкости противопожарных преград (в том числе противопожарных штор) устанавливается по времени (в минутах) наступления

Таблица 6. Огнестойкость противопожарных штор

Производитель противопожарных штор	Предел огнестойкости
НПО “СЭТ-Огнезащита” (Россия)	EI 60; EI 120; EI 180
ООО “Противопожарные преграды” (Россия)	EI 60/EI 120
Компания “Архикон” (Россия)	EI 60–EI 120
Stöbich Brandschutz GmbH (Германия)	EI 60–EI 120
ООО “Проспект-СПб” (Россия)	EI 60/EI 90
Примечание. Над чертой указан предел огнестойкости штор без орошения водой, под чертой — с орошением.	

одного или последовательно нескольких, нормируемых для данной конструкции признаков предельных состояний: потери целостности (Е), потери теплоизолирующей способности (I).

Так, обозначение EI 60 означает, что штора выдерживает воздействие пожара в течение 60 мин без потери целостности, без прогаров или других видимых повреждений, задерживает распространение опасных факторов пожара (ОФП) за пределы очага горения.

Пределы огнестойкости противопожарных штор зависят от вида материала полотна, дополнительной пропитки его огнеупорными составами, толщины полотна (не должна превышать 7 мм), количества слоев огнезащитных материалов и конструктивных особенностей штор.

Максимальная заявленная огнестойкость противопожарных штор (например, НПО “СЭТ-Огнезащита”) без орошения водой составляет 180 мин.

Огнестойкость противопожарных штор разных производителей приведена в табл. 6.

7.1. Повышение огнестойкости противопожарных штор путем применения эффективных термостойких материалов

Простейшая конструкция противопожарной шторы на основе пассивного способа обеспечения огнестойкости имеет в своем составе рабочее полотно, выполненное в виде мата в тканевой обкладке, и нетканый наполнитель на основе минеральных волокон, стойких к воздействию температуры пожара. Для обеспечения предела огнестойкости EI 60 толщина рабочего полотна должна быть более 40 мм. В связи с этим конструкция будет отличаться от описанных ранее конструкций повышенной массой и габаритными размерами корпуса, что резко ограничит размеры защищаемых данной конструкцией проемов. Следует также отметить, что достичь более высокого предела огнестойкости применением данного технического решения не представляется

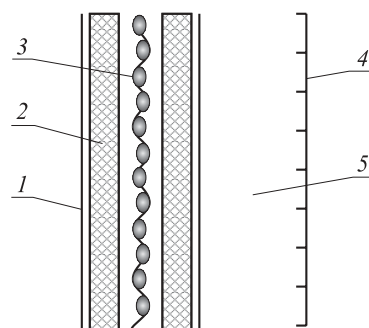


Рис. 17. Структура рабочего полотна противопожарной шторы Fibershield-I: 1 — фольга; 2 — терморасширяющееся огнезащитное покрытие; 3 — ткань Protex 1100; 4 — стеклосетка; 5 — воздушный зазор

возможным, поскольку дальнейшее увеличение толщины рабочего полотна неприемлемо даже при относительно небольшой высоте проема, а увеличение массы может привести к разрушению рабочего полотна под действием собственного веса.

Для уменьшения толщины рабочего полотна с целью обеспечения его компактности для хранения в исходном положении (т. е. намотанным на вал) разработаны многослойные структуры, в составе которых теплоизолирующий слой формируется терморасширяющимся покрытием.

Наиболее прогрессивная конструкция противопожарных штор на основе рабочего полотна такого типа (Fibershield-I) разработана специалистами компании “Stöbich Brandschutz GmbH”. Структура данного рабочего полотна приведена на рис. 17. Однако и в этом случае достигнутый предел огнестойкости не превышает EI 90. Кроме того, данная конструкция отличается очень высокой стоимостью (1425 долл. за 1 м² защищаемого проема), что является основным сдерживающим фактором ее продвижения на российском рынке.

7.2. Повышение огнестойкости противопожарных штор путем орошения водой

В существующих конструкциях противопожарных преград заданный предел огнестойкости по критерию потери теплоизолирующей способности обеспечивается следующими способами:

- теплофизическими характеристиками и конструктивным исполнением ограждающей части, реализующими естественные процессы тепло-массообмена (пассивный способ);
- принудительным охлаждением ограждающей части от внешнего источника (активный способ).

Предел огнестойкости описанных выше конструкций по критерию I не обеспечивается. Для его обеспечения применяется орошение поверхности рабочего полотна водой. Заявленный некоторыми производителями противопожарных штор расход

воды составляет 0,12 л/с на 1 м ширины рабочего полотна. Однако следует отметить, что этот результат получен при высоте рабочего полотна 2 м, и с ее увеличением расход будет расти прямо пропорционально.

Вода на охлаждение рабочего полотна подается от сплинкеров, установленных на расстоянии 500 мм от его поверхности в верхней части с шагом 1,5 м по ширине проема.

При использовании орошения водой рабочего полотна ориентировочная стоимость конструкции повышается до 850 долл. за 1 м² защищаемого проема.

Несмотря на существенное снижение расхода воды по сравнению с водяной завесой, данная конструкция недостаточно эффективна, что обусловлено:

- разрушающим воздействием воды на конструкции, отделку и содержимое здания;
- почти мгновенной потерей огнестойкости по критерию I при перебоях в подаче воды;
- необходимостью стабилизации давления в системе подачи воды.

Следует отметить, что материальный ущерб наносится как неиспарившейся водой, так и паром. В данном случае вследствие низкой проницаемости рабочего полотна испарение воды будет происходить в помещение, со стороны которого производится орошение, а также в защищаемое.

Для предотвращения выхода пара в защищаемое помещение требуется установка трубопроводов с дренажами по обеим сторонам рабочего полотна и включение с помощью автоматики только тех из них, которые расположены со стороны пожара. Однако такое техническое решение приведет к существенному повышению стоимости конструкции и ухудшению ее эстетического вида.

Необходимость в поддержании требуемого для дренажей давления при большом количестве потребителей воды потребует устройства насосной станции и резервного запаса воды, что также увеличит затраты.

В целях минимизации разрушающего воздействия воды и водяного пара специалистами компании “Stöbich Brandschutz GmbH” предложена система, состоящая из двух штор, устанавливаемых с обеих сторон проема. Распыление воды производится в пространство, ограниченное рабочими полотнами.

Очевидным существенным недостатком данного технического решения является его высокая стоимость, которая в два раза превышает стоимость описанной ранее конструкции. Естественно предположить, что именно по этой причине данная конструкция не получила широкого распространения. Она не представлена на официальном сайте российского представительства фирмы “Stöbich Brandschutz GmbH”. Кроме того, в доступной технической

литературе отсутствуют данные по расходу воды, полученные при ее испытаниях на огнестойкость в соответствии с действующей в России стандартной методикой. В указанной литературе отмечено лишь применение данной конструкции для защиты относительно небольших проемов в зоне пересечения противопожарных преград конвейерами.

Тайваньскими инженерами предложена конструкция противопожарной шторы, рабочее полотно которой охлаждается водой, проходящей по расположенным внутри его структуры каналам. В данной конструкции отсутствует испарение и пролив воды. Однако ее эффективность существенно снижается из-за технической сложности конструкции рабочего полотна и необходимости в устройстве для отведения или рециркуляции прошедшей по каналам охлаждающей воды. Все это отрицательным образом сказывается на стоимости данной конструкции. Ее присутствие на рынке и фактические технические характеристики также не установлены.

Несомненным преимуществом конструкций противопожарных штор на основе пассивного способа обеспечения огнестойкости является полное отсутствие разрушающего воздействия на конструкции, отделку и содержимое зданий. Это обусловлено отсутствием водяного охлаждения рабочего полотна. Однако таким конструкциям присущи недостатки, существенно снижающие их эффективность.

Для повышения эффективности рабочего полотна, применяемого в конструкциях противопожарных штор и укрытий, предлагается новый способ обеспечения его огнестойкости, сочетающий в себе способы активной и пассивной защиты, совмещение которых должно усиливать действие каждого из них, применяемого по отдельности.

Данный способ заключается в создании в пористой структуре рабочего полотна парокапельно-воздушной среды из охлаждающей жидкости, в результате чего должен проявляться непрерывный физический эффект испарительного охлаждения.

Принцип функционирования рабочего полотна основан на блокировании радиационно-конвективного теплового потока от пламени на основе рационального сочетания физических эффектов: отражения и поглощения теплового излучения, испарительного охлаждения, а также теплоизолирующего эффекта рабочего полотна и воздушной прослойки между ним и расположенным за ним объектом.

Тепловой баланс в системе, образованной пламенем, рабочим полотном и защищаемым объектом, представляется в виде:

$$\vec{q} = \vec{q}_0 + \vec{q}_{Rf} + \vec{q}_{Rd} + \vec{q}_v + \vec{q}_i, \quad (5)$$

где q — тепловой поток, подводимый к обогреваемой поверхности рабочего полотна от пламени;

q_0 — часть теплового потока, прошедшая к защищаемому объекту;

q_{Rf} — часть теплового потока, отраженная поверхностью рабочего полотна в окружающее пространство;

q_{Rd} — часть теплового потока, переизлученная нагретой поверхностью рабочего полотна в окружающее пространство;

q_v — часть теплового потока, поглощенная при испарении жидкости, заполняющей капиллярно-пористый слой рабочего полотна, и фильтрации пара к его обогреваемой поверхности;

q_i — часть теплового потока, блокированная теплоизоляцией рабочего полотна и воздушной прослойкой между рабочим полотном и защищаемым объектом.

Выражение (5) поясняется схемой, представленной на рис. 18.

По принципу действия предлагаемый способ является комбинированным, поскольку в нем совмещены принципы активного и пассивного способов защиты. Предположение о более высокой эффективности данного способа по сравнению с активным и пассивным обусловлено следующим:

- плотность отраженного теплового потока q_{Rf} существенно выше ввиду большей отражательной способности поверхности ткани по сравнению с отражательной способностью пленки жидкости и парокапельно-воздушной среды;
- падающий тепловой поток дополнительно уменьшается за счет переизлучения нагретой поверхностью рабочего полотна; в тепловом балансе активных способов обеспечения огнестойкости слагаемое q_{Rd} отсутствует;
- плотность теплового потока, поглощенного при испарении q_v , значительно больше, так как капли жидкости, движущиеся с большой скоростью между сетками, практически не успевают испариться;
- дополнительная часть внешнего теплового потока блокируется теплоизоляцией рабочего полотна

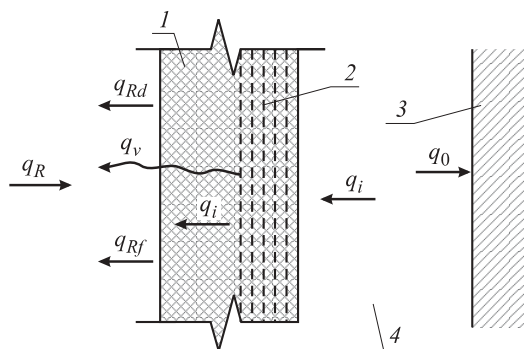


Рис. 18. Тепловой баланс в системе, образованной пламенем, рабочим полотном и защищаемым объектом: 1 — рабочее полотно; 2 — влага; 3 — защищаемый объект; 4 — воздушная прослойка

на и воздушной прослойкой между ним и защищаемым объектом; в тепловом балансе активных способов обеспечения огнестойкости слагаемое q_i отсутствует.

Пассивная огнезащита реализуется благодаря:

- хорошей теплоизолирующей способности (в том числе при высоких температурах) термостойкого материала рабочего полотна;
- способности капиллярно-пористого материала впитывать влагу, что резко повышает его теплоизолирующую способность при пожаре за счет реализации испарительного охлаждения;
- фильтрации, обеспечивающей равномерный массоперенос охлаждающей жидкости в рабочем полотне.

Перечисленные преимущества комбинированного способа обеспечения огнестойкости конструкций по сравнению с известными способами должны привести к следующим результатам:

- значительному снижению расхода охлаждающей жидкости;
- сохранению огнестойкости и работоспособности ограждающей конструкции в качестве противопожарной преграды при перебоях в подаче охлаждающей жидкости в течение достаточно длительного периода времени;
- минимизации или обеспечению отсутствия неиспарившейся части жидкости, способной нанести значительный материальный ущерб содержанию, отделке и инженерным системам зданий и сооружений.

Рабочее полотно, реализующее комбинированный способ обеспечения огнестойкости, предлагается изготавливать из волокнистых термостойких материалов по швейной технологии в виде слоистой конструкции. Для наружных слоев предлагается применять кремнеземную ткань с поверхностной плотностью 150–600 г/м²; для внутреннего капиллярно-пористого слоя — нетканые рулонные материалы на основе базальтовых или кремнеземных волокон плотностью 80–200 кг/м³. Для упрочнения рабочего полотна, с целью предотвращения его преждевременного разрушения от воздействия механических нагрузок, в конструкцию может вводиться легкая стальная сетка или кварцевая ткань. Данные материалы могут применяться не только в качестве наружных слоев, но и дополнительно в структуре внутреннего слоя.

Предлагаемое рабочее полотно может функционировать в режимах, которые характеризуются:

- непрерывной подачей охлаждающей жидкости с помощью встроенной в конструкцию противопожарной преграды системы на протяжении всего времени огневого воздействия;

- периодическим насыщением охлаждающей жидкостью;
- отсутствием охлаждающей жидкости.

Вода может подаваться в рабочее полотно следующими способами:

- орошением поверхности;
- пропиткой ограниченного участка в верхней зоне по всей ширине преграды и за счет фильтрации под действием силы тяжести.

В первом способе расход воды регулируется изменением давления и проходного сечения в подводящей линии, во втором — главным образом параметрами капиллярно-пористой среды, характеризующими материал внутреннего слоя рабочего полотна.

8. Оптимизация конструктивных параметров рабочего полотна противопожарных штор

Расчет оптимальных параметров рабочего полотна по критерию минимума стоимости конструкции при действующих ограничениях на огнестойкость, толщину и массу рабочего полотна производится в соответствии с предлагаемым алгоритмом оптимального проектирования, блок-схема которого показана на рис. 19. Данный алгоритм является частным случаем алгоритма оптимального проектирования огнестойких строительных конструкций и включает ряд этапов.

Входными параметрами для проектирования являются требуемый предел огнестойкости конструкции и высота проема. В зависимости от высоты проема из конструктивных соображений выбирают высоту рабочего полотна.

На первом этапе для выбранного материала внутреннего слоя выполняется расчет необходимого расхода воды в зависимости от толщины материала для обеспечения заданного предела огнестойкости по критерию потери теплоизолирующей способности. Выбор материала производят по критериям минимальности теплопроводности и стоимости. Следовательно, на этом этапе необходимо выбирать серийно выпускаемые материалы.

Для выбранного материала внутреннего слоя определяется также расход воды, обеспечиваемый за счет фильтрации под действием силы тяжести.

Затем на основании полученных результатов устанавливают толщину внутреннего слоя по условию отсутствия вытекания неиспарившейся воды из рабочего полотна. Если полученная толщина не удовлетворяет конструктивным ограничениям, то требуется изменить проницаемость материала, определяемую его плотностью и диаметром волокон.

При невозможности вписаться в заданные ограничения следует выбрать материал с другими характеристиками.

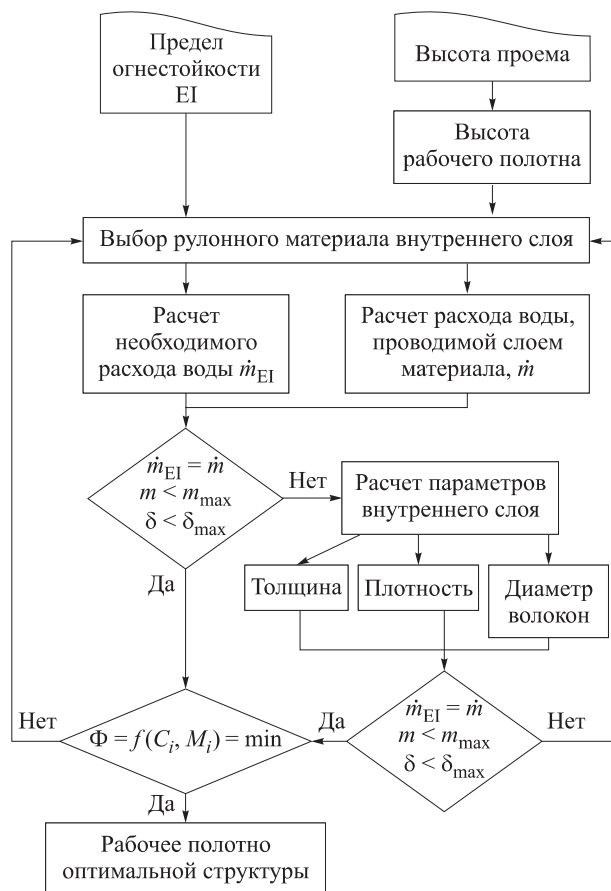


Рис. 19. Блок-схема алгоритма оптимального проектирования рабочего полотна противопожарной шторы повышенной эффективности (δ — толщина материала шторы)

На последующих этапах организуется итерационный процесс, выход из которого осуществляется по критерию оптимальности (функции цели), представляющему собой минимум функционала:

$$\Phi = f(C_i, M_i) = \min, \quad (6)$$

где C_i — стоимость реализации i -го варианта исполнения строительной конструкции;

M_i — масса конструкции i -го варианта исполнения.

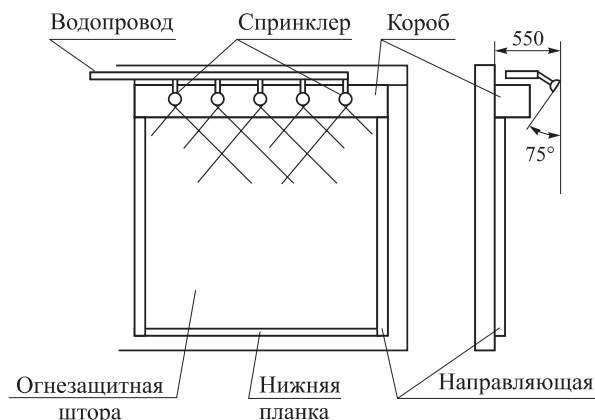


Рис. 20. Схема водяного орошения противопожарных штор

9. Противопожарные шторы с орошением водой

При необходимости противопожарные шторы могут быть дополнительно оснащены системами водяной завесы (рис. 20). В комбинации с различными системами водяных завес может быть достигнута степень защиты EI 120. За счет своих свойств полотно огнезащитной шторы препятствует проникновению дыма и огня и противостоит повышению температуры до 1100 °С не менее 120 мин.

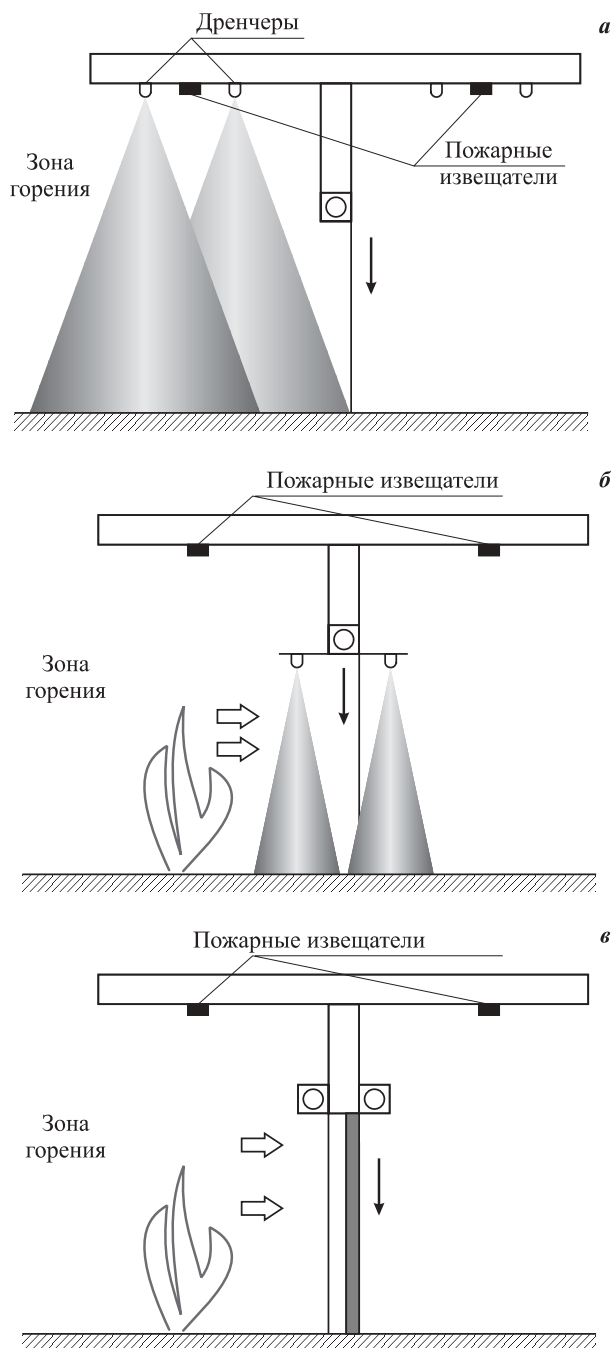


Рис. 21. Способы снижения проникающего теплового излучения: *а* — подавление огня с помощью спринклера; *б* — охлаждение водяными струями (дождевальное устройство); *в* — распыление воды внутри полости



Рис. 22. Применение спринклеров в сочетании с противопожарной шторой

В зависимости от принятого плана пожарной защиты предлагаются различные решения по снижению интенсивности теплового излучения, пропускаемого преградой (рис. 21).

Пример использования противопожарных штор с орошением водой показан на рис. 22.

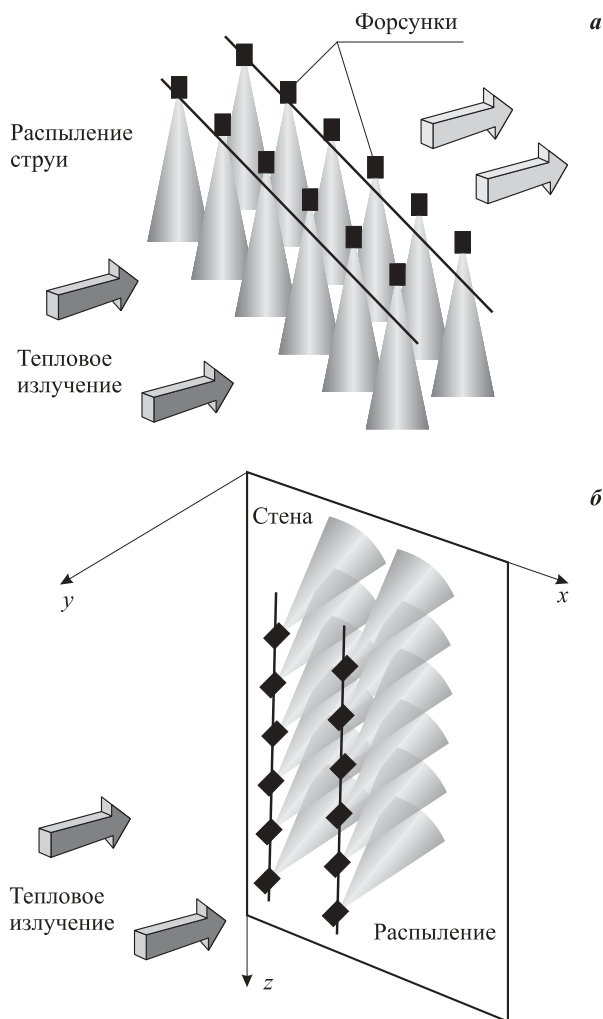


Рис. 23. Вертикальное (*а*) и горизонтальное (*б*) расположение водяной завесы

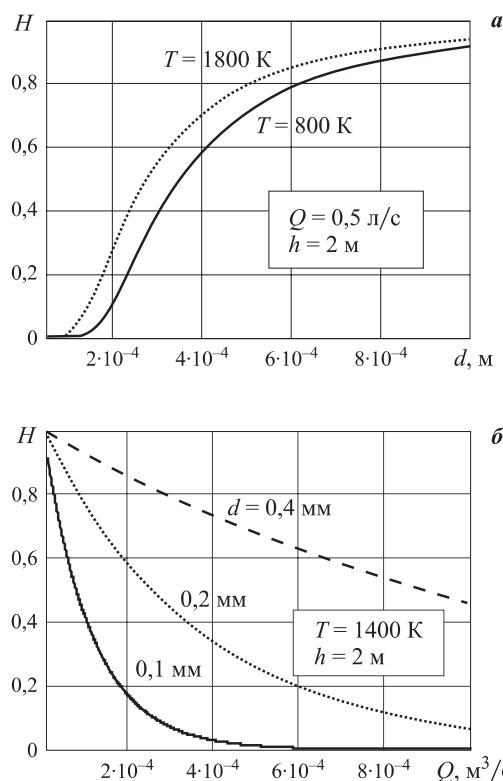


Рис. 24. Зависимость коэффициента пропускания H водяной завесы от диаметра капель d (а) и расхода воды Q (б)

В международной практике противопожарная водяная завеса является средством пожарной защиты для предотвращения распространения пожара на объектах и в помещениях, а также для снижения воздействия опасных факторов пожара на предметы и людей путем уменьшения плотности лучистого теплового потока. Водяная завеса, применяемая

в сочетании с противопожарными шторами, может иметь вертикальное и горизонтальное расположение (рис. 23).

Международным научным сообществом в качестве определяющего показателя эффективности принят коэффициент пропускания водяной завесы H . Данный параметр представляет собой отношение выходящего из геометрического контура капли потока энергии к проникающему в каплю (общему) энергетическому потоку:

$$H = \exp \{-0,734 [1 - \eta(d, T)] n d^2 l\}, \quad (7)$$

где η — коэффициент пропускания капли;

d, n — диаметр и концентрация капель соответственно в противопожарной водяной завесе;

l — толщина водяной завесы;

T — температура очага пожара.

Графические зависимости коэффициента пропускания водяной завесы от диаметра капель и расхода воды (рис. 24), как и формула (7), показывают, что эффективность защиты с помощью противопожарной водяной завесы мало зависит от температуры очага пожара, но возрастает (коэффициент пропускания снижается) при уменьшении диаметра водяных капель и увеличении расхода воды. Однако реально эффективной и сравнительно экономичной по расходу будет противопожарная водяная завеса с диаметром капель менее $0,2 \text{ мм}$. При дисперсности же распыления $0,5\text{--}1,0 \text{ мм}$ тепловой поток от пожара экранируется менее чем на четверть.

(Окончание следует)

Материал поступил в редакцию 15 января 2015 г.

Для цитирования: Корольченко А. Я., Гетало Д. П. Противопожарные шторы (обзор). Часть 2 // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 35–43.

For citation: Korolchenko A. Ya., Getalo D. P. Protivopozharnyye shtory (obzor). Chast 2 [Fire shields (review). Part 2]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 35–43.

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)

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

УДК 614.842.65

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Приведено несколько уровней иерархии подсистем, формирующих городскую среду, обеспечивающую реализацию потребностей человека и требований государственной экономики к эффективному освоению природных богатств и трудовых ресурсов. Представлена классификация помещений, группы помещений, функционально связанных между собой, в зависимости от способа их использования в суточном цикле эксплуатации многофункционального архитектурно-планировочного комплекса с точки зрения движения людских потоков. Дан анализ динамики движения людских потоков на “вход” и “выход” из зданий различного типа. Выявлены закономерности временной динамики посещаемости городским населением объектов различных групп предприятий.

Ключевые слова: застройка городов; городская среда; движение людских потоков; архитектурно-планировочный комплекс; функциональные виды помещений; группы учреждений.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.44-51

Интерес науки к проблемам городов, активизировавшийся с началом всемирной урбанизации, привнес в их изучение новые направления и методы исследования, касающиеся различных аспектов жизни городского населения, функционирования городов в системе расселения, их места в пространственной структуре освоения географических территорий и их влияния на экологический баланс природной среды. В процессе развития данного интереса можно выделить два периода: период дифференцированного участия представителей различных областей знаний, определяемый традиционными подходами и методами в каждой из областей наук, и период интеграции междисциплинарных исследований, определяемый общим пониманием города как сложной системы.

Дифференциация исследований первого периода не только раскрыла множество новых фактов, идей и направлений развития исследований в каждой из дисциплин, изучающих жизнь города, но и породила определенную профессиональную конкуренцию между ними. “Соперничество дисциплин, и в частности экономики, географии и социологии, при изучении проблем развития городов, районной планировки и благоустройства территории объясняет проявления взаимной отчужденности, заметной при рассмотрении методических приемов или при просмотре ссылок на литературу” [1].

Явная экономическая “подоплека” хаотичной застройки городов, сформировавшаяся во времена начала промышленной революции, определила прежде всего актуальность экономического анализа стоимости участков городской земли.

Представители классического подхода [2–4] считали, что цена участка городской земли равна его сельскохозяйственной стоимости, увеличенной на цену выгодности местоположения. При оценке уже застроенных участков исходили из того, что существует равновесие между затратами на новый вид использования земли, рыночной стоимостью участка и будущими доходами владельцев, т. е. свободная конкуренция, свойственная простому товарному хозяйству и становлению капиталистических рыночных отношений. Как известно, простое товарное производство основано на частной собственности, средствах на производство товара (продукта) и личном труде производителя (членов его семьи) в объеме, необходимом для удовлетворения личных потребностей.

Однако капитализм, развитие которого было интенсифицировано на рубеже XIX–XX веков концентрацией средств машинного производства и капитала в монопольном владении, захватил рынки и государственное управление. Это привело к ситуации, при которой “чаще всего господствует режим моно-

полии” [1], поэтому “экспроприации земельной собственности и использования земельной ренты на нужды государства” требовали не только К. Маркс и Ф. Энгельс, но и представители различных политических убеждений, столкнувшиеся с проблемами формирования городов. Так, например, Генри Джорж [4], публикации которого были широко известны и оказали безусловное влияние на Э. Говарда и на Ф. Райта, считал частную собственность на землю причиной различных форм социального зла, в наибольшей степени проявляющихся в крупных городах. Единственно возможным способом нейтрализации отрицательных последствий он считал введение налога на земельную собственность. Требования прогрессивных деятелей, принадлежавших к различным направлениям, по нормализации условий жизни низших слоев общества в крупнейших индустриальных городах оформляются в программы действий политических партий и общественных организаций, набравших к началу XX века достаточную силу, чтобы оказывать влияние на характер застройки городов. В результате их деятельности сложилось понимание того, что в современных условиях градостроительство должно заниматься также решением социальных вопросов, а общество и его руководящие органы обязаны контролировать частную предпринимательскую деятельность, финансирующую строительство в надежде на получение высокой прибыли.

Таким образом, появляются возможности влияния на планировочную структуру городов. Вопрос о том, как они должны развиваться при продолжающейся интенсивной урбанизации в меняющихся политэкономических условиях и приходящих на смену друг другу общественно-политических системах, до сих пор остается нерешенным. Наглядным свидетельством этого являются метаморфозы во взглядах государственных органов постперестроечной России с их руководящим аппаратом чиновников из преуспевающих (гласно или негласно) предпринимателей.

Проблема высокой стоимости земли в центральной зоне исторически сложившихся городов, исходя из опыта СССР и в условиях государственной собственности на землю, актуальна до сих пор. В Советском Союзе ценность инфраструктурно освоенных участков городской территории всегда учитывалась при размещении объектов нового строительства и реконструкции, но цены на участок земли как объект частной собственности не существовало. Именно поэтому результаты зарубежных исследований о возможностях влияния на ценообразование городских земельных участков, отражающихся непосредственно на высотности их застройки, были востребованы для постперестроечной России.

Сторонники новых подходов приходят к выводу, что “вся пространственная организация города непосредственно вытекает из организации транспортных потоков как функции людских потоков” [1], поэтому они ищут соотношение между стоимостью земельных участков и затратами времени на перемещение по городу. Эволюция подходов к формированию стоимости земельных участков в городе отражает и более широкий спектр изменений в методологии исследований проблем городов различными областями науки.

Город — сложная, динамично функционирующая, пространственно-временная система открытого типа, которая активно связана с окружающей средой, потребляя из нее необходимые для функционирования ресурсы и поставляя в нее продукты своей деятельности. С позиции системного подхода можно выделить несколько уровней иерархии подсистем (рис. 1), формирующих городскую среду, обеспечивающую реализацию потребностей человека и требований государственной экономики к эффективному освоению природных богатств и трудовых ресурсов.

Подсистемы первого (нижнего) уровня можно назвать архитектурно-планировочным комплексом (АПК), в который входит ряд зданий или сооружений и городских пространств, объединенных определенными критериями пространственной целостности и функциональной взаимосвязанности. Элементами АПК являются отдельные здания с их компонентами (помещениями, конструкциями, оборудованием, участком застройки) и относительно обособленные участки территории. В качестве АПК можно рассматривать, например, общественный центр жилого района, застройку в пределах междиагистральной территории, городской парк и т. п. Планировочная структура АПК определяется функционально-пространственными связями, на основе которых эти элементы объединяются в комплекс.

Здания АПК являются источниками и генераторами людских потоков. Поскольку каждое здание и



Рис. 1. Иерархия подсистем, формирующих городскую среду

Классификация функциональных блоков

Группа учреждений	Способ использования в суточном цикле функционирования	Функциональные виды помещений	Характер аккумуляции и движения людских потоков
I	Используются непрерывно в течение определенного периода суток; основной контингент — люди, знакомые с планировкой здания или функционального блока	Учреждения управления, научные и проектные организации, учебные и промышленные подразделения	Ярко выраженные “пики” на “вход” и “выход”; относительные пики в определенные часы, состав участников потока в основном постоянный
II	Используются непрерывно в течение определенного периода суток; основной контингент — посетители, число которых значительно превосходит численность постоянного персонала; знакомство основного контингента с планировкой — поверхностное	Предприятия по сферам обслуживания населения: торговые, общественного питания; бытового и коммунального обслуживания; поликлиники и амбулатории; физкультурно-оздоровительные центры	Непрерывный, но неравномерный людской поток с переменным составом участников
III	Массовое пребывание людей в определенные периоды в течение суток. Число мест для посетителей ограничено. Знакомство с планировкой — ограниченное	Предприятия, организующие зрелищные и развлекательные мероприятия, отдых и проведение досуга, культурно-просветительные учреждения	Циклический людской поток при числе представлений более трех, при меньшем числе представлений — эпизодический поток; переменный состав участников
IV	Пребывание людей в течение короткого периода времени; степень знакомства с планировкой зависит от того, как часто зданием пользуются (работают в нем или только посещают)	Вокзалы, автостанции, аэропорты, пересадочные транспортные узлы	Людской поток зависит от режима работы обслуживаемых учреждений и качества функционирования транспортной системы города

сооружение в городе возводится для удовлетворения определенных потребностей его жителей и обеспечения взаимосвязанного функционирования, то вводится соответствующая классификация зданий по назначению.

Потребности человека многочисленны и классифицируются в определенной иерархии. Как правило, выделяются три основных вида потребностей: материальные, духовные и социальные.

Помещения или группы помещений, функционально связанные между собой в зависимости от способа их использования в суточном цикле эксплуатации многофункционального АПК, подразделяются на четыре группы, каждой из которых соответствует характерный вид аккумуляции и движения людских потоков. Такая классификация [5, 6] представлена в таблице.

Части здания и помещения с учреждениями группы I являются основными для высотных зданий деловых центров, например ММДЦ “Москва-Сити”. Здесь формируются людские потоки с ярко выраженными “пиками” во времени. Распределение численности (величины) потоков x (%) на “вход” и “выход” в определенные интервалы времени, полученное по данным отечественных (рис. 2) и зарубежных (рис. 3) исследователей, имеют идентичный характер [7, 8]. Величина потока определяется отношением количества людей $N_{\Delta t}$, приходящих в здание за интервал времени Δt , к общему количеству людей N , прохо-

дящих через здание за суточный период его функционирования.

Как показывают графики на рис. 2 и 3, существует два характерных максимальных “пика”:

- утренний — на “вход” перед началом рабочего дня;
- вечерний — на “выход” в конце рабочего дня.

Между ними имеется “всплеск” потоков на “вход-выход” в обеденные часы. Для России утренний “пик”

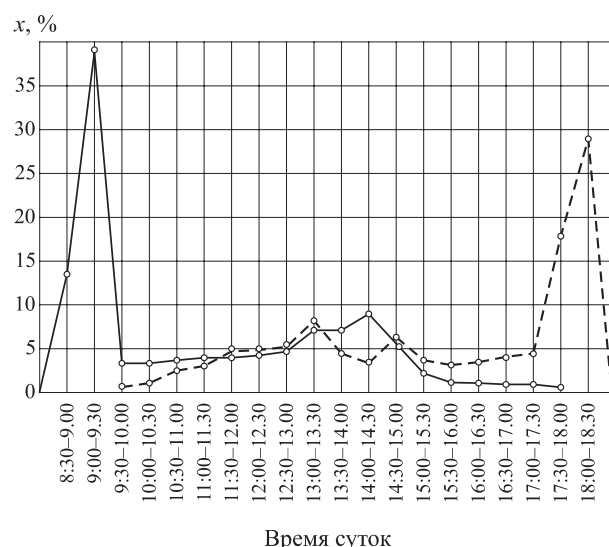


Рис. 2. Динамика движения людских потоков на “вход” (—) и “выход” (---) из зданий крупных проектных организаций в г. Москве в течение периода их функционирования

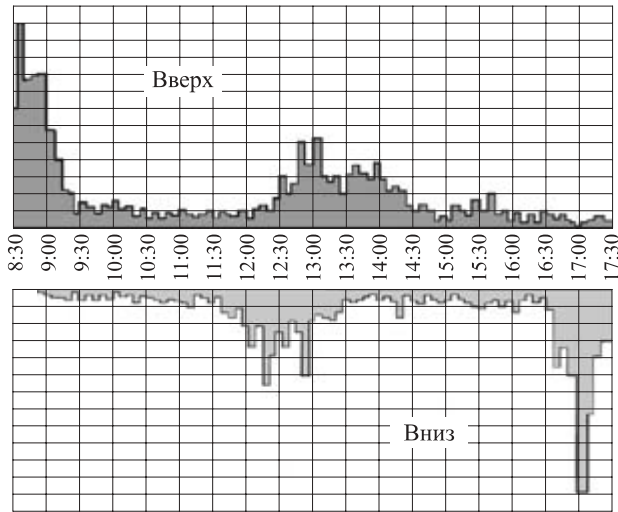


Рис. 3. Диаграмма динамики людского потока на “вход” и “выход” из зданий крупных учреждений, основанная на 5-минутных пассажиропотоках в лифтах по данным зарубежных исследований

более компактен по времени, поэтому его экстремальное значение больше по сравнению с вечерним. Для подобных учреждений в зарубежных странах максимальное значение величины людских потоков приходится на вечерний “пик” на “выход”, так как сотрудники не любят задерживаться на работе. Немного различается и структура утреннего “пика” на “вход”: для зарубежных учреждений характерен “заблаговременный” приход сотрудников (за 30–40 мин до начала рабочего дня), а для отечественных — “впритык”, непосредственно к началу работы.

Движение людских потоков на “вход” и “выход” в учреждениях группы II имеет относительно равномерный характер в течение всего рабочего дня или один “пиковый” интервал, совпадающий, как правило, с часами окончания работы учреждений

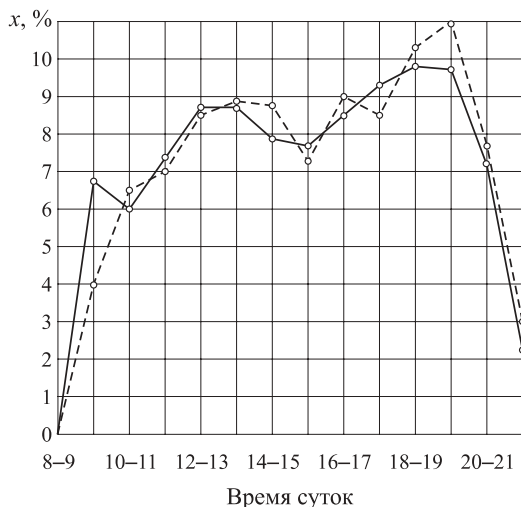


Рис. 4. Динамика движения людских потоков на “вход” (—) и “выход” (---) в здании городского главного почтамта в часы его работы для населения

группы I (рис. 4). В торговых учреждениях данной группы динамика притока покупателей коррелируется с товарооборотом предприятий. Эту информацию можно использовать для определения посещаемости учреждения в том случае, если специальные данные отсутствуют.

Состав учреждений группы II очень разнообразен по их типу и по значимости их услуг в балансе затрат времени различных групп населения. Эти аспекты определяют характерные особенности динамики посещения учреждений в часы их работы, что легко заметить при сравнительном анализе графиков движения на “вход-выход” для соответствующих типов учреждений данной группы, представленных на рис. 5 и 6.

Обращает на себя внимание тот факт, что “пик” посещаемости учреждений, предоставляющих услуги (товары) повседневного спроса и расположенных на пути движения людей от работы к дому, прихо-

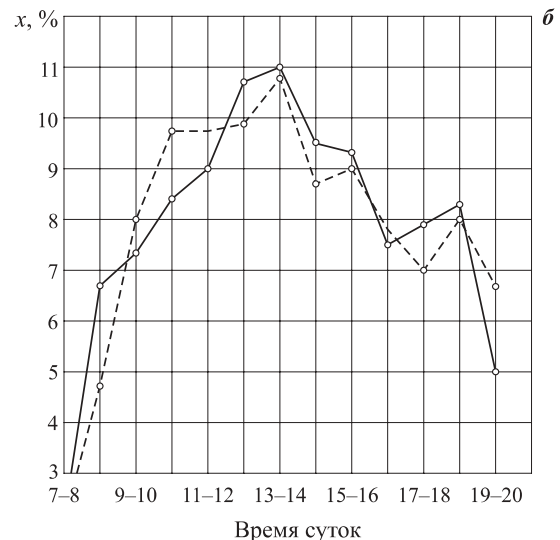
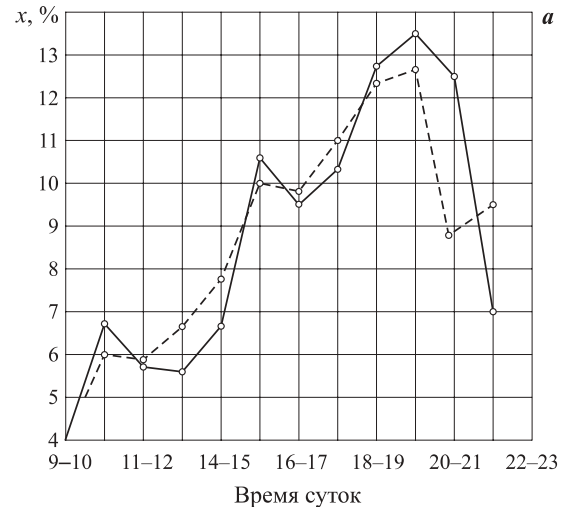


Рис. 5. Динамика движения потоков покупателей на “вход” (—) и “выход” (---) в центральном универсаме (а) и на центральном рынке (б) города

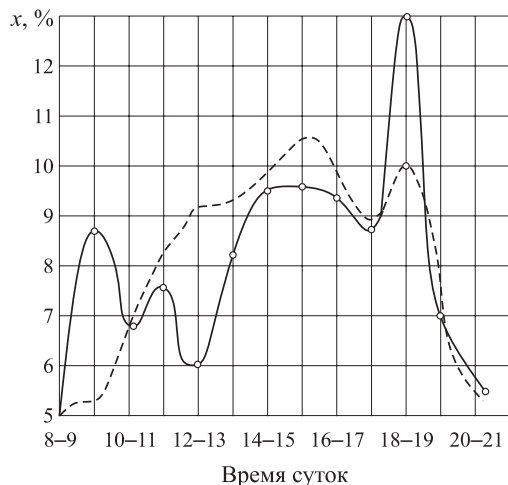


Рис. 6. Динамика движения людского потока (——) и товарооборота (---) в универсаме

дится на время окончания рабочего дня населения, занятого в учреждениях группы I. Здесь имеет место попутное обслуживание работающего населения. Учреждения, предоставляющие периодические услуги или находящиеся вне маршрутов повседневного цикла передвижения работающего населения, имеют “пик” посещаемости, приходящийся на время рабочего дня (см. рис. 5,б и 6). Однако величина этих пиковых нагрузок по отношению к средней посещаемости в течение дня далеко не столь разительна, как в учреждениях группы I.

Среди учреждений группы II особый интерес представляет режим движения людских потоков в помещениях и частях зданий предприятий общественного питания. Необходимость контроля доступа в зоны высотных зданий делового назначения, занимаемые учреждениями группы I, заставляет разделить предприятия общественного питания на две группы: обслуживающие сотрудников и посетителей учреждений группы I и работающие на город, т. е. обслуживающие тех людей, которые могут находиться в многофункциональном центре с культурно-бытовыми целями.

График максимальной загрузки предприятий первой подгруппы будет повторять динамику дневного “пика” на выход для обслуживаемых ими работников учреждений группы I. Процесс движения людского потока на “вход” во второй из подгрупп предприятий общественного питания также характеризуется неравномерностью. Своего максимального значения (около 11 %) поток достигает обычно с 12 до 14 часов, а затем постепенно уменьшается до 5–6 % к 18–19 часам.

Помещения и зоны зданий учреждений группы III в зависимости от количества сеансов, проводимых в период их суточного функционирования, с точки

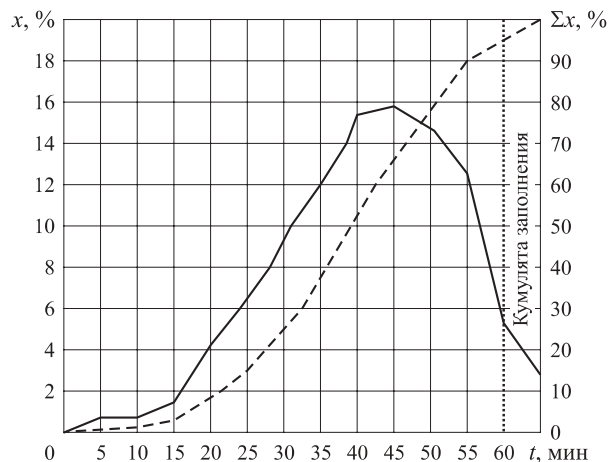


Рис. 7. Интенсивность прихода людей в здание театра за 60 мин до начала спектакля (Σx — кумулята заполнения зрительных залов)

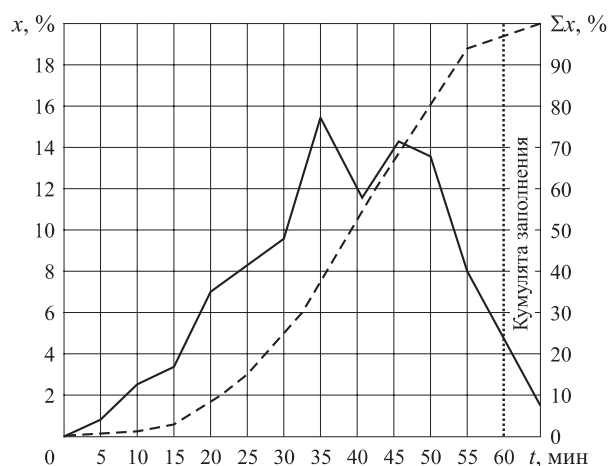


Рис. 8. Интенсивность прихода людей на спортивно-зрелищные мероприятия за 60 мин до их начала

зрения аккумуляции людских потоков разделяются на две группы.

В помещениях первой подгруппы количество сеансов составляет 1–3 за сутки, и число посетителей на каждом из них значительное. Характерно, что из-за исключительности мероприятий и большого зрительского интереса к ним приобретение билетов на их посещение производится заранее (за несколько дней), при этом продажа билетов в кассах учреждения непосредственно перед началом сеанса может отсутствовать. Следует также учесть, что перед началом сеанса перед входом может образоваться скопление людей (толпа), желающих перекупить билеты на сеанс или ожидающих членов своей компании, в составе которой они заранее договорились посетить данное мероприятие. Максимальная плотность скопления наблюдается за 10–15 мин до начала представления и составляет 10–15 % от вместимости театральных и концертных залов и 5–7 % — спортивно-зрелищных залов.

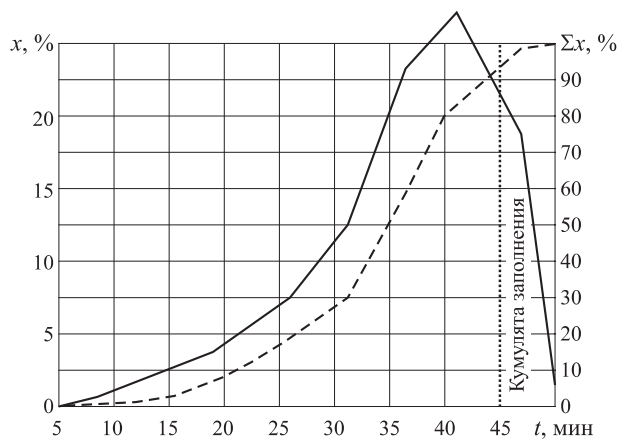


Рис. 9. Интенсивность прихода людей в здание кинотеатра за 40 мин до начала сеанса

Вторую подгруппу составляют кинотеатры и клубы, в которых проводится от 4 до 8 сеансов в день. Приобретение билетов осуществляется непосредственно перед началом сеанса, за несколько часов до него или заблаговременно (за сутки и более). В общей сложности интенсивность посещения учреждения зависит от популярности кинофильма (или иного мероприятия), дня недели, времени суток и изменяется в широких пределах. Рост величины потока наблюдается после окончания рабочего дня (приблизительно с 16 часов). Исходя из частоты сеансов движение людских потоков носит циклический характер.

Заполнение помещений, исполняющих функцию зрительного зала в учреждениях, имеет общий характер (рис. 7–9). Оно начинается заранее: в театрах, концертных залах и спортивно-зрелищных сооружениях — за 60 мин, в кинотеатрах — за 40–45 мин до начала представления. Соответственно, сдвинуты во времени и “пики” входящих потоков. Заполнение театров и концертных залов за 25–30 мин до начала

составляет 25–30 % от общей вместимости зала, за 10–15 мин — 65–70 %. “Пик” в 15 мин на графике может быть более “растянутым” во времени при проведении спортивных мероприятий [9–11] и более “островершинным” для кинотеатров. Доля опоздавших к началу представления достигает 5 % (в кинотеатрах она выше).

Транспортные здания и сооружения (учреждения группы IV) являются промежуточным звеном в цепи передвижения людей к месту назначения. В связи с этим характер аккумуляции и генерации людских потоков в данных учреждениях разнообразен во времени и зависит от режима их функционирования, места расположения и других многочисленных, трудно учитываемых факторов [12–14]. Математическое ожидание величины потока $M[X]$ на рассматриваемых объектах транспортного обслуживания определяется по формуле

$$M[X] = \sum_{i=1}^m X_i^t p_i^t, \quad (1)$$

где X_i^t — случайная величина потока, % от объема перевозок в рассматриваемый интервал времени t и от суточного объема величины пассажиропотока по направлению i ;

p_i^t — вероятность выбора потока.

Приведенные закономерности временной динамики посещаемости городским населением объектов различных групп предприятий, описанных в статье, выявленные специальными исследованиями, малоизвестны широкому кругу специалистов. Отсутствие представленных выше зависимостей и необходимых исходных данных ведет к принятию неэффективных проектных решений, корректировка которых в период эксплуатации требует значительных экономических и организационных затрат или практически невозможна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мерлин П. Город. Количественные методы изучения / Пер. с франц. — М. : Прогресс, 1977. — 264 с.
2. Marshall A. Principle of economics. — London : Macmillan and Co., Ltd., 1890.
3. Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов. — М. : Эксмо, 2007. — 960 с.
4. George H. Our Land and Land Policy: Speeches, Lectures and Miscellaneous Writings. — New York : Doubleday, Page & Co., [1871] 1900.
5. Буга П. Г. Исследование пешеходного движения в городах : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1973.
6. Буга П. Г. Пешеходное движение в городах. — М. : Стройиздат, 1979. — 127 с.
7. Изард У. Методы регионального анализа: введение в науку о регионах / Пер. с англ. — М. : Прогресс, 1966. — 660 с.
8. Хаггет П. Пространственный анализ в экономической географии. — М. : Прогресс, 1968. — 390 с.
9. Дувидзон Р. М. Проектирование спортивных сооружений с учетом движения людских потоков : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1968.

10. Предтеченский В. М., Милинский А. И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. — Изд. 2-е. — М. : Стройиздат, 1979.
11. Поддаева О. И. Физические исследования архитектурно-строительной аэродинамики для устойчивого проектирования в строительной отрасли // Промышленное и гражданское строительство. — 2013. — № 9. — С. 35–38.
12. Парфененко А. П. Методология моделирования людских потоков и практика программирования их движения при эвакуации // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 12. — С. 46–55.
13. Parfenenko A. P. Modeling and rationing evacuation in Russia // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1073–1076. — P. 1551–1556. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1073-1076.1551.
14. Холищевников В. В., Гилетич А. Н., Ушаков Д. В., Парфененко А. П. Общая закономерность изменения параметров движения людских потоков различного функционального контингента в зданиях и сооружениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 12. — С. 32–41.

Материал поступил в редакцию 15 апреля 2015 г.

Для цитирования: Корольченко Д. А., Холищевников В. В. Дифференциация концепции системного подхода к анализу городской среды // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 44–51. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.44-51.

English

DIFFERENTIATION OF THE CONCEPT OF SYSTEM APPROACH TO THE URBAN ENVIRONMENT ANALYSIS

KOROLCHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Highway, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

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

ABSTRACT

Some levels of hierarchy of the subsystems forming urban environment which provide realization of human needs and requirements of the state economy in effective development of natural riches and labor resources are specified. Classification of premises and groups of premises, functionally related depending on a way of their use in a daily cycle of exploitation of multipurpose architectural-planning complex with relation to the movement of pedestrian flows is presented. Analysis of the movement dynamics of pedestrian flows directed inside and outside of various types of buildings is given. Regularities of temporary dynamics of attendance of objects of various categories of enterprises by urban population are revealed.

Keywords: categories of enterprises; urban environment; movement of pedestrian flows; architectural-planning complex; functional types of premises; groups of establishments.

REFERENCES

1. Merlin P. Gorod. *Kolichestvennyye metody izucheniya* [City. Quantitative methods of studying. Transl. from French]. Moscow, Progress Publ., 1977. 264 p.
2. Marshall A. *Principle of economics*. London, Macmillan and Co., Ltd., 1890.
3. Smith A. *Issledovaniye o prirode i prichinakh bogatstva narodov* [Research on the nature and reasons of wealth of nations]. Moscow, Eksmo Publ., 2007. 960 p.
4. George H. *Our Land and Land Policy: Speeches, Lectures and Miscellaneous Writings*. New York, Doubleday, Page & Co., [1871] 1900.
5. Buga P. G. *Issledovaniye peshekhodnogo dvizheniya v gorodakh. Dis. kand. tekhn. nauk* [Research of pedestrian movement in cities. Cand. of Tech. Sci.]. Moscow, MISI Publ., 1973.
6. Buga P. G. *Peshekhodnoye dvizheniye v gorodakh* [Pedestrian movement in cities]. Moscow, Stroyizdat, 1979. 127 p.

7. Izard U. *Metody regionalnogo analiza: vvedeniye v nauku o regionakh* [Methods of regional analysis: introduction to the science of regions. Transl. from English]. Moscow, Progress Publ., 1966. 660 p.
8. Huggett P. *Prostranstvennyy analiz v ekonomicheskoy geografii* [Spatial analysis in economic geography]. Moscow, Progress Publ., 1968. 390 p.
9. Duvidzon R. M. *Proyektirovaniye sportivnykh sooruzheniy s uchetom dvizheniya lyudskikh potokov. Dis. kand. tekhn. nauk* [Design of sports buildings taking into account the movement of pedestrian flows. Cand. of Tech. Sci.]. Moscow, MISI Publ., 1968.
10. Predtechenskiy V. M., Milinskiy A. I. *Proyektirovaniye zdaniy s uchetom organizatsii dvizheniya lyudskikh potokov* [Design of buildings taking into account organization of the movement of pedestrian flows. Edition 2]. Moscow, Stroyizdat, 1979.
11. Poddaeva O. I. Fizicheskiye issledovaniya arkhitekturno-stroitelnoy aerodinamiki dlya ustoychivogo proyektirovaniya v stroitelnoy otrasli [Physical researches of architectural and construction aerodynamics for steady design in construction branch]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo — Industrial and Civil Engineering*, 2013, no. 9, pp. 35–38.
12. Parfenenko A. P. Metodologiya modelirovaniya lyudskikh potokov i praktika programmirovaniya ikh dvizheniya pri evakuatsii [Methodology of modeling of pedestrian flows and practice of programming of their movement during evacuation]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 12, pp. 46–55.
13. Parfenenko A. P. Modeling and rationing evacuation in Russia. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1073–1076, pp. 1551–1556. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1073-1076.1551.
14. Kholshchevnikov V. V., Giletich A. N., Ushakov D. V., Parfenenko A. P. Obshchaya zakonomernost izmeneniya parametrov dvizheniya lyudskikh potokov razlichnogo funktsionalnogo kontingenta v zdaniyakh i sooruzheniyakh [General regularity of change of the movement parameters of pedestrian flows with various functional contingent in buildings and constructions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 12, pp. 32–41.

For citation: Korolchenko D. A., Kholshchevnikov V. V. Differentsiatsiya kontseptsii sistemnogo podkhoda k analizu gorodskoy sredy [Differentiation of the concept of system approach to the urban environment analysis]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 44–51. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.44-51.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает 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



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

А. М. ГРИШИН, д-р физ.-мат. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры физической и вычислительной механики механико-математического факультета, Национальный исследовательский Томский государственный университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 36)

В. П. ЗИМА, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования и прогноза катастроф механико-математического факультета, Национальный исследовательский Томский государственный университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 36)

Д. П. КАСЫМОВ, младший научный сотрудник лаборатории моделирования и прогноза катастроф механико-математического факультета, Национальный исследовательский Томский государственный университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 36; e-mail: denkasymov@gmail.com)

УДК 536.37

ПРИМЕНЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ В УСТРОЙСТВАХ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ТУШЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

Приведены результаты теоретико-экспериментальных исследований, позволяющие утверждать, что локализацию и тушение пожаров можно осуществлять путем воздействия взрыва на наиболее уязвимые области фронта пожара, а именно на зоны пиролиза и зоны смешения продуктов пиролиза с кислородом воздуха. Рассмотрены разработки по способам и устройствам локализации и тушения природных пожаров, основанные на знании структуры пламени, включающего зоны сушки, нагрева, пиролиза, смешения с кислородом воздуха, воздействие на которые возможно относительно малыми энергетическими возмущениями (ударными волнами), что позволяет минимизировать вред, наносимый окружающей среде, экологии на участках, где проводятся противопожарные мероприятия. Показано, что использование на практике рассматриваемых технологических решений даст возможность повысить эффективность и оперативность мероприятий по борьбе с природными пожарами различной интенсивности.

Ключевые слова: физико-математическое моделирование; природные и техногенные катастрофы; сопряженные задачи механики; многофазная реагирующая среда; ударная волна; горение; эксперимент.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.52-60

Введение

Актуальность изучения природных пожаров и способов борьбы с ними несомненна [1–3]. Как правило, природные пожары наносят значительный материальный и экономический ущерб [4–7].

В настоящее время известны и широко используются следующие основные способы борьбы с природными пожарами различной интенсивности [1]:

- 1) метод “захлестывания” фронта низового лесного пожара;
- 2) окапывание кромки лесного пожара грунтом для создания минерализованной полосы;
- 3) тушение водой с помощью переносных ранцевых лесных опрыскивателей (РЛО) и авиации;
- 4) отжиг лесного горючего материала (ЛГМ);
- 5) взрывные способы.

Все перечисленные приемы тушения с точки зрения механизма воздействия на лесной пожар мож-

но, в свою очередь, разделить на три группы: а) физико-механические; б) химические; в) локализация и тушение с использованием ударных волн, образующихся при подрыве зарядов взрывчатых веществ (ВВ) и пороховых зарядов (ПЗ) [8].

К первой группе относятся методы “захлестывания” и затирания кромки пожара ветками лиственных деревьев или вениками. Захлестывание применяют при слабом горении и на легких слабозадержанных почвах при отсутствии захламления. При этом ширина заградительных полос должна быть не менее 0,5 м [9].

К химическим методам борьбы следует отнести широко используемый на практике отжиг ЛГМ перед фронтом пожара [1].

Более эффективны способы третьей группы — локализация и тушение с использованием шнуровых зарядов типа ПЖВ-20 и ЭШ-1п [10]. При их подрыве достигается высокая степень формирова-

ния опорной минерализованной полосы. Существенным недостатком этих зарядов является низкая эффективность использования энергии взрыва ВВ, так как основная энергия при подрыве рассеивается в окружающей среде. Поэтому для формирования опорной минерализованной полосы необходимо значительное количество зарядов, что приводит к повышению материально-технических затрат и, соответственно, стоимости выполняемых работ.

Новые разработки по локализации и тушению пожаров с использованием ВВ и пороховых зарядов, формирующих ударные волны

Анализ условий возникновения, распространения и потухания природных пожаров посвящено много работ [11–22]. В частности, в публикации [11] рассматривается структура фронта низового лесного пожара, так как такие пожары наиболее часто возникают в природе. Аналогичную им структуру имеют и остальные типы пожаров (верховые, степные). Установлено, что во фронте пожара (в факеле пламени) выделяется несколько зон: прогрева природных горючих материалов (ПГМ), сушки, пиролиза (газификации), смешения продуктов пиролиза с кислородом воздуха, горения газообразных и конденсированных продуктов [1]. Из всех перечисленных зон самыми неустойчивыми являются зоны пиролиза и смешения продуктов пиролиза с кислородом воздуха. Установлено, что если их разрушить, то процесс горения прекратится. Подобный подход к проблеме борьбы с природными пожарами, направленный на разрушение неустойчивых зон, позволяет сформулировать требования к новым способам и устройствам: это прежде всего безопасность пожарных, экологическая безопасность, связанная с сохранением природных материалов, простота и надежность устройств в исполнении, высокая эффективность [1, 8].

Проведены практические испытания с использованием шнуровых зарядов типа ПЖВ-20 и ЭШ-1п, позволившие подтвердить сформулированные в работе [10] положения относительно подобных способов борьбы с природными пожарами.

Эксперименты также показали, что воздействие ударных волн на зоны пиролиза и смешения приводит к усилению самих ударных волн, поскольку разрушение этих зон сопровождается нарастанием давления (рис. 1).

Этому эффекту усиления можно дать следующее объяснение. Поскольку процесс горения природных горючих материалов носит многостадийный характер [1], усиление действия взрыва при наличии фронта пожара может происходить за счет ускорения химического превращения газообразных продуктов пи-

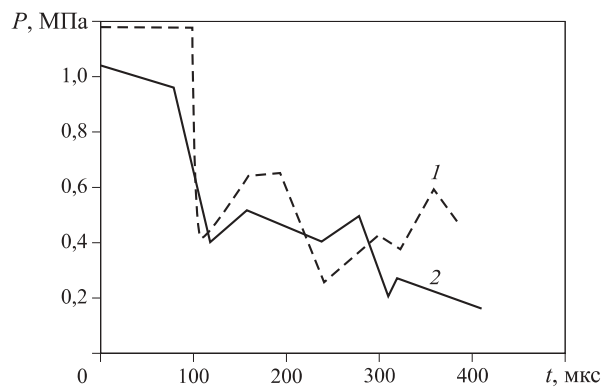


Рис. 1. Зависимости давления от времени при взрыве заряда при отсутствии (1) и наличии (2) пожара

ролиза. Всплески на кривых зависимости давления от времени возникают в результате воздействия на датчики отраженных от растительности ударных волн (см. рис. 1) [11]. Усиление ударной волны рассматривалось в работе [11] с помощью математического моделирования процесса подрыва цилиндрического удлиненного шнурового заряда. Анализ проводился на основе решений одномерной задачи в цилиндрической системе координат. Расчеты выполнялись для заряда аммонита ПЖВ-20. Для упрощения термохимической модели процесса считалось, что газовая фаза состоит из пяти компонентов ($W = 5$): 1W_2 , 2O_2 , 3CO_2 , 4CO , 5H_2O (где левый верхний индекс обозначает порядковый номер).

Распределение давления в момент после взрыва, когда ударная волна находится на расстоянии 1,5 м от места подрыва, приведено на рис. 2. Сравнение кривых 1–3 позволяет заключить, что интенсивность ударной волны, распространяющейся по разогретым газообразным горючим продуктам пиролиза (кривая 3), падает быстрее, чем в холодном воздухе (кривая 1), а интенсивность ударной волны, распространяющейся в продуктах пиролиза, с учетом химического превращения выше (кривая 2). Из рис. 2 видно,

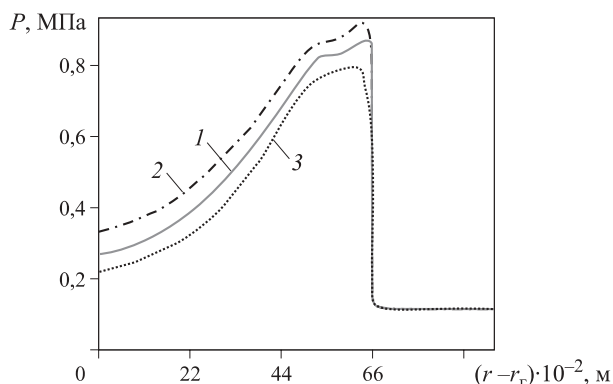


Рис. 2. Профили давления после взрыва цилиндрического заряда ПЖВ-20: 1 — в воздухе; 2 — в продуктах пиролиза с учетом химического превращения; 3 — то же, без учета химического превращения; r_g соответствует положению границы раздела продукты взрыва — продукты пиролиза

что именно инициирование химического превращения в газообразных продуктах пиролиза природных горючих материалов и является причиной усиления ударных волн при их воздействии на фронт пожаров.

Научно-технические разработки устройств локализации пожаров

Рассматриваются следующие технические предложения:

- комбинированный способ локализации и тушения низовых лесных и степных пожаров [23];
- накладной шнуровой заряд для локализации и тушения [24];
- дезинтегратор фронта низового лесного пожара [25].

Предложен и запатентован комбинированный способ локализации и тушения низовых лесных и степных пожаров, заключающийся в том, что перед фронтом пожара на определенном расстоянии от него размещают на почве накладной шнуровой заряд. При приближении фронта горения к заранее отмеченному месту заряд подрывают и создают таким образом минерализованную заградительную полосу [23].

Способ реализуется следующим образом.

Пожарные в зоне лесного пожара определяют его интенсивность и классифицируют по типу: слабый, средней силы, сильный [1]. После этого оценивают высоту факела и перед фронтом на напочвенном покрове на безопасном от огня расстоянии устанавливают реперную вешку (рис. 3). В качестве реперной вешки может быть использован шест с флажком. Затем на напочвенном покрове 3 размещают накладной шнуровой заряд 1 на расстоянии l от вешки. Расстояние l должно быть таким, чтобы исключить разрушение материала оболочки заряда от воздействия тепловой волны и предотвратить несанкционированный подрыв заряда:

$$\frac{T_1 - T^*}{T_1 - T_0} \leq \frac{l}{H} < \frac{T_1 - \bar{T}}{T_1 - T_0},$$

где T_1 — температура пламени;

T^* — температура разрушения оболочки заряда;

T_0 — температура окружающей среды;

H — высота пламени;

$\bar{T}$ — температура зоны пиролиза.

При достижении передней кромкой фронта реперной вешки заряд подрывают с помощью электродетонатора. Подрыв заряда 1 и взрыв зоны пиролиза 4 ударной волной 6 приводят к срыву факела пламени и разрушению фронта пожара (см. рис. 3). Оставшиеся малые очаги горения 7 дотушивают с помощью дезинтегратора 8, описание и принцип работы которого даны в [26].

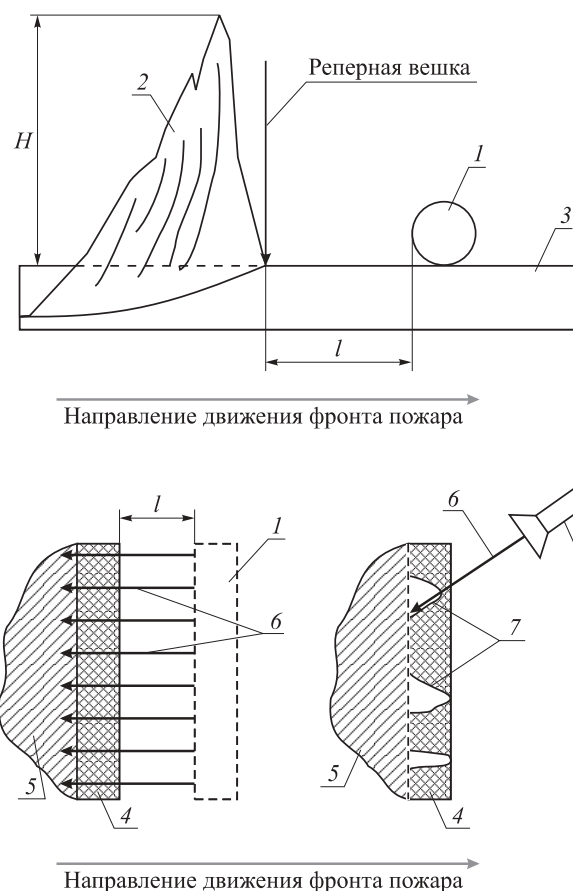


Рис. 3. Схема комбинированного способа локализации и тушения пожара: 1 — заряд ВВ; 2 — факел пламени; 3 — покров ПГМ; 4 — зона пиролиза; 5 — участок сгоревшего ПГМ; 6 — ударная волна; 7 — оставшиеся очаги пламени; 8 — дезинтегратор

Известно [27], что при подрыве заряда ВВ, кроме прямой ударной волны, при ее взаимодействии с грунтом формируется отраженная волна, перепад давления в которой определяется из соотношения

$$\Delta P_{\text{отр}} = \Delta P_{\text{фр}} \left(2 + \frac{6}{1 + 7P_0/\Delta P_{\text{фр}}} \right),$$

где $\Delta P_{\text{фр}}$ — перепад давления на фронте прямой ударной волны, МПа;

P_0 — давление продуктов взрыва, МПа.

Наибольший эффект формирования отраженной ударной волны достигается в этом случае при взаимодействии прямой ударной волны с поверхностью при ее подходе к поверхности под углом $\varphi \approx 45^\circ$. В [27] также отмечено, что при увеличении φ до 60° величина $\Delta P_{\text{отр}}$ убывает и при $\varphi = 90^\circ$ $\Delta P_{\text{отр}} = \Delta P_{\text{фр}}$, а максимальное значение $\Delta P_{\text{отр}}$ достигается при $45^\circ \leq \varphi \leq 80^\circ$.

С учетом вышеизложенного для подрыва предлагается использовать накладной шнуровой заряд, описание которого приведено в работе [24], а конструктивное исполнение представлено на рис. 4.

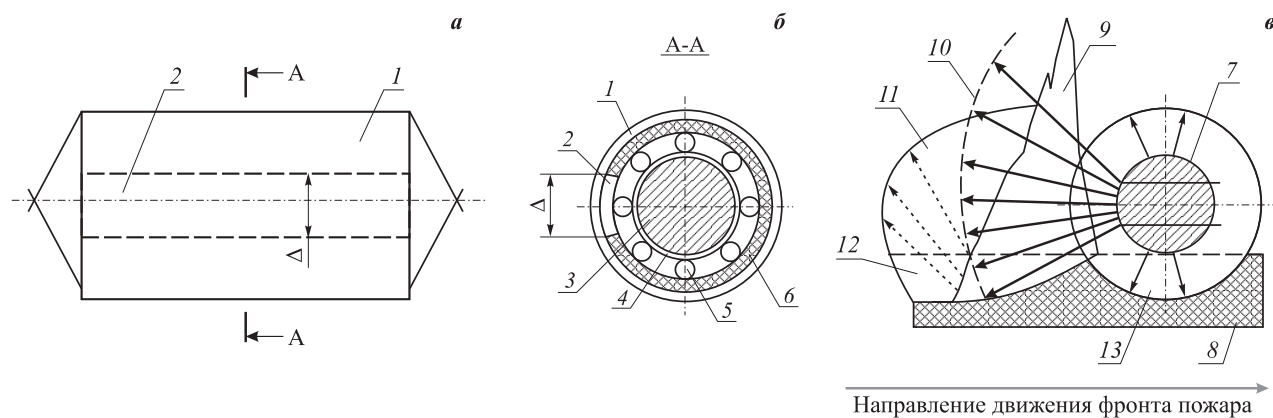


Рис. 4. Накладной шнуровой заряд: *а* — общий вид; *б* — конструкция; *в* — схема действия продуктов взрыва на фронт пожара; 1 — внешняя эластичная оболочка; 2 — паз; 3 — патрон ВВ; 4 — бумажный стакан; 5 — силовые нити; 6 — оплетка; 7 — заряд в момент взрыва; 8 — напочвенный покров ПГМ; 9 — факел пламени; 10 — дальность действия струи; 11 — область действия ударной волны; 12 — сгоревший участок на подстилающей поверхности; 13 — минерализованная канавка

В предлагаемом шнуровом заряде в оплетке *б* по всей длине предусмотрен паз 2, глубина которого соответствует толщине оплетки. Наличие паза шириной Δ позволяет дополнительно сформировать отраженную ударную волну 11. Эффективность действия продуктов взрыва на очаг горения за счет этого возрастает. При этом ширина паза Δ выбирается из соотношения $\Delta = (0,3 \div 0,5)r$ (где r — радиус заряда, м), что соответствует изменению угла φ в указанном в работе [27] диапазоне. Прочность конструкции заряда обеспечивается внешней эластичной оболочкой 1, в которую помещается заряд.

На месте проведения работ по локализации низового лесного или степного пожара перед надвигающимся фронтом разворачивается на напочвенном покрове 8 предлагаемый шнуровой заряд. Он укладывается таким образом, чтобы паз 2 (см. рис. 4) был ориентирован в сторону фронта пожара. При подходе фронта к заряду последний подрывается электродетонатором дистанционно либо с помощью детонационного шнура (ДШ). Образующиеся при подрыве заряда газы 7 создают давление в сотни атмосфер [27], в результате чего происходит разрушение элементов конструкции заряда. Первой разрушается внешняя эластичная оболочка 1 в области паза 2 (см. рис. 4), а остальные элементы конструкции (оплетка 6, силовые нити 5 и бумажный стакан 4) — с запозданием. Продукты взрыва заряда и возникающая при этом ударная волна первоначально устремляются через паз 2, формируя струю, направленную в сторону очага горения на подстилающую поверхность 8. Направленное действие ударной волны обеспечивает срыв факела пламени 9, а горящий ПГМ сбрасывается в сторону прогоревшего участка 12. Отраженная ударная волна дополнительно усиливает сдвиг горящего ПГМ, что приводит к разрушению фронта горения и формированию минерализованной канавки 13.

В соответствии с новой концепцией борьбы с лесными пожарами и с учетом структуры факела пламени можно создавать устройства, позволяющие малыми энергетическими возмущениями разрушать наиболее уязвимую часть пламени — зону пиролиза и смешения. Для этих целей можно использовать устройство, рассмотренное в работе [26]. Известно, что фокусирование ударных волн применяется в различных областях науки и техники [28–30].

На рис. 5 приведены зависимости амплитуды сфокусированной ударной волны $P_{\text{фок}}$ от расстояния до зоны фокусировки $X_{\text{фок}}$ для трех вариантов фокусирующего эллипса различной длины.

Из рис. 5 видно, что с увеличением длины эллипса l , сфокусированная ударная волна (ее значение) возрастает. Апробация этого эффекта проводилась в натурных условиях на полигоне с использованием устройства, представляющего собой модифицированный вариант стрелкового оружия, непригодного к применению по основному назначению (рис. 6). Формирование ударной волны в устройстве осуществляется с помощью насадка. Пороховой заряд 1

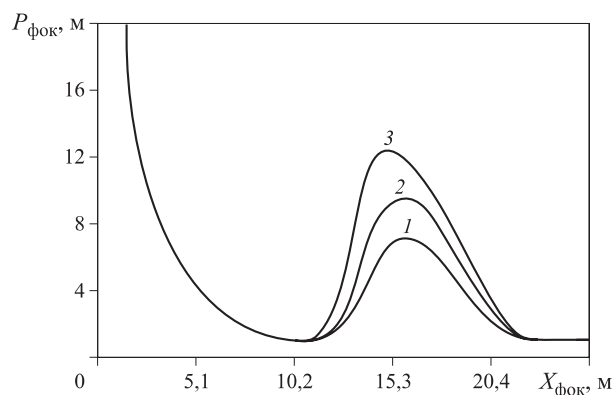


Рис. 5. Зависимость амплитуды сфокусированной ударной волны от расстояния до зоны фокусировки для трех вариантов фокусирующего эллипса различной длины: 1 — $6,11 \cdot 10^{-2}$ м; 2 — $8,8 \cdot 10^{-2}$ м; 3 — $11,44 \cdot 10^{-2}$ м

Данные натурных испытаний [14]

Тип насадки	Диаметр сечения, мм	Глубина захвата, м		Ширина захвата, м		Эффективная дальность воздействия L , м	
		$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 45^\circ$
Конусный	5	0,75	0,55	0,40	0,40	1,2	1,2
Параболический	5	0,80	0,60	0,55	0,45	1,2	1,2
	3	0,50	0,35	0,30	0,30	1,2	1,0

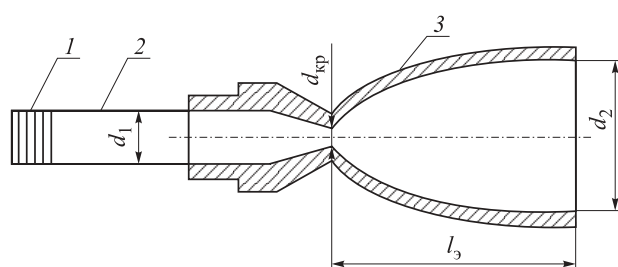


Рис. 6. Устройство для локализации и тушения низовых лесных пожаров [12]: 1 — заряд пороха; 2 — ствол; 3 — насадок

воспламеняется, образующиеся высокотемпературные продукты проходят по стволу 2 и попадают в насадок 3. Форма насадка способствует формированию усиленной ударной волны, оказывающей воздействие на зону пиролиза. Следует отметить, что выходной диаметр сопла d_2 меняется в пределах $18 \cdot 10^{-3} < d_2 < 40 \cdot 10^{-3}$ м при диапазоне входного диаметра сопла $3 \cdot 10^{-3} < d_{кр} < 6 \cdot 10^{-3}$ м. Данные значения подбирались в результате проведения опытов на полигоне в условиях, близких к реальным [27].

Экспериментальная проверка действия модели источника малых энергетических возмущений, имеющего фокусирующий насадок, на фронт низового лесного пожара отражена в работе [28]. Результаты экспериментов представлены в таблице.

Апробировалось три типа насадков. Анализ результатов испытаний показал, что насадок с парабо-

лической внутренней полостью и диаметром критического сечения $d_{кр} = 5 \cdot 10^{-3}$ м имеет хорошие характеристики. Эксперименты подтвердили возможность применения подобного устройства при тушении низовых лесных пожаров малой и средней интенсивности [28].

Заключение

В соответствии с новой концепцией борьбы с лесными пожарами и с учетом структуры факела пламени в данной работе рассмотрены разработки по локализации и тушению верховых, низовых лесных и степных пожаров. Применение и учет представленных способов и методик позволят повысить оперативность и эффективность мероприятий по борьбе с природными и техногенными катастрофами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 14-01-00211_а, 15-01-00513_а, 15-31-20314_мол_а_вед), программы повышения конкурентоспособности ТГУ (Tomsk State University Competitiveness Improvement Program), научного проекта (№ 8.1.27.2015), выполненного при поддержке программы “Научный фонд Томского государственного университета им. Д. И. Менделеева” в 2015 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. — Новосибирск : Наука, 1992. — 408 с.
2. Гришин А. М., Цимбалюк А. Ф. Математическое моделирование срыва лесных горючих материалов в результате взрыва шнурового заряда взрывчатого вещества // ФГВ. — 2006. — Т. 42, № 3. — С. 92–99.
3. James H. Speer. A Review of “Living with fire: fire ecology and policy for the twenty-first century” // The Professional Geographer. — 2010. — Vol. 62, Issue 1. — P. 137–138. DOI: 10.1080/00330120903446430.
4. National Interagency Fire Center. Year-to-date statistics 2013. URL : <http://www.nifc.gov/fireInfo/nfn.htm> (дата обращения: 16.02.2015).
5. Воробьев Ю. Л. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. — М. : ДЭКС-Пресс, 2004. — 312 с.
6. Царев В. А. Экономический ущерб, нанесенный природными пожарами в России в 2010 году // Лесотехнический журнал. — 2012. — № 3. — С. 147–155.
7. Sullivan A. L. Chapter 5 — Grassland fire management in future climate / Donald L. Sparks (ed.). Advances in Agronomy // Academic Press. — 2010. — Vol. 106. — P. 173–208. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)06005-0.

8. Курбатский Н. П., Валендик Э. Н. Локализация лесных пожаров накладными шнуrowыми зарядами. — Красноярск : Изд-во “Красноярский рабочий”, 1970. — С. 320–332.
9. Охрана и защита леса. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — М. : Лесная промышленность, 1969. — 408 с.
10. Пат. 2345806 С2 Российская Федерация. МПК А62С 3/02 (2006.01), А01G 23/00 (2006.01). Способ локализации низового лесного пожара / Гришин А. М., Зима В. П. — № 2007106509/12; заявл. 27.08.2008; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 4.
11. Гришин А. М., Ковалев Ю. М. Об усилении ударных волн при взаимодействии с фронтом лесного пожара // Доклады АН СССР. — 1990. — Т. 312, № 1. — С. 50–54.
12. Кузнецов В. Т., Фильков А. И. Воспламенение различных видов древесины потоком лучистой энергии // ФГВ. — 2011. — Т. 47, № 1. — С. 74–79.
13. Пат. 2508141 С1 Российская Федерация. МПК А62С 3/02 (2006.01). Способ предотвращения распространения лесного пожара / Каблов В. Ф., Суркаев А. Л., Благинин С. И. — № 2012151462/12; заявл. 30.11.2012; опубл. 27.02.2014, Бюл. № 6.
14. Lowden L., Hull T. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction // Fire Science Reviews. — 2013. — Vol. 2, No. 4. — P. 1–19. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4.
15. Maranghides A., Mell W. Framework for Addressing the National Wildland Urban Interface Fire Problem — Determining Fire and Ember Exposure Zones using a WUI Hazard Scale. — Gaithersburg, Maryland, USA : National Institute of Standards and Technology, 2013. DOI: 10.6028/nist.tn.1748.
16. Morandini F., Silvani X. Experimental investigation of the physical mechanisms governing the spread of wildfires // International Journal of Wildland Fire. — 2010. — Vol. 19, No. 5. — P. 570–582. DOI: 10.1071/wf08113.
17. BFRl Initiates Studies of Wildland / Urban Interface (WUI) Fires, BFRl Activities, Accomplishments and Recognitions, 2004–2005. URL : <http://www.bfrl.nist.gov/Annual/2004-2005/BFRl06.pdf> (дата обращения: 20.01.2014).
18. Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M. Climate change and forest fires // Science of the Total Environment. — 2000. — Vol. 262, Issue 3. — P. 221–229. DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00524-6.
19. Rinieri F., Balbi J.-H., Santoni P.-A. On the use of an infra-red camera for the measurement of temperature in fires of vegetative fuels. URL : <http://qirt.gel.ulaval.ca/archives/qirt2006/papers/011.pdf> (дата обращения: 12.02.2015).
20. Mell W. E., Manzello S. L., Maranghides A., Butry D., Rehm R. G. The wildland-urban interface fire problem — current approaches and research needs. International Journal of Wildland Fire. — 2010. — No. 19. — P. 238–251. DOI: 10.1071/WF07131.
21. Filkov A. I., Kuzin A. Ya., Sharypov O. V., Leroy-Cancellieri V., Cancellieri D., Leoni E., Simeoni A., Rein G. Comparative study to evaluate the drying kinetics of Boreal peats from micro to macro scales // Energy & Fuels. — 2012. — Vol. 26, No. 1. — P. 349–356. DOI: 10.1021/ef201221y.
22. Leroy-Cancellieri V., Cancellieri D., Leoni E., Simeoni A., Filkov A. I. Energetic potential and kinetic behavior of peats // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. — 2014. — Vol. 117, No. 3. — P. 1497–1508. DOI: 10.1007/s10973-014-3912-2.
23. Пат. 2458716 С1 Российская Федерация. МПК А62С 3/02 (2006.01). Комбинированный способ локализации и тушения низовых лесных и степных пожаров / Гришин А. М., Зима В. П. — № 2011110659/12; заявл. 21.03.2011; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23.
24. Пат. 2496539 Российская Федерация. МПК А62С 3/02. Накладной шнуrowой заряд для локализации низовых лесных и степных пожаров / Гришин А. М., Зима В. П. — № 2012118846; заявл. 05.05.2012; опубл. 27.10.2013.
25. Свидетельство ПМ 10582 Российская Федерация. Дезинтегратор фронта низового лесного пожара с огнегасящим патроном / Гришин А. М., Зима В. П. — № 98120291; заявл. 02.11.1998; опубл. 16.08.1998, Бюл. № 8.
26. Свидетельство ПМ 12975. МПК А62С 3/02. Устройство для локализации низового лесного пожара и быстрого отжига лесных горючих материалов / Гришин А. М., Зима В. П., Медведев А. В. — № 98120290; заявл. 02.11.1998; опубл. 20.03.2000, Бюл. № 8.
27. Покровский Г. И. Взрыв. — М. : Недра, 1980. — 189 с.
28. Гришин А. М., Голованов А. Н., Зима В. П., Самойлов В. И., Цимбалюк А. Ф. Эксплуатация дезинтеграторов при тушении низовых лесных пожаров // Избранные доклады международной конференции “Математическое и физическое моделирование сопряженных задач механики реагирующих сред и экологии”. — Томск : Изд-во Томского гос. ун-та, 2000. — С. 97–101.
29. Гуляев В. И., Иванченко Г. М. Фокусировка и рассеивание плоских ударных волн на поверхности раздела анизотропных упругих сред // ПМТФ. — 2002. — Т. 43, № 5. — С. 20–27.

30. Ануфриев И. С., Голованов А. Н., Цимбалюк А. Ф., Шарыпов О. В. Динамика ударных волн в осесимметричных каналах с конфузорами // Вестник НГУ. Серия: Физика. — 2009. — Т. 4, вып. 2. — С. 13–18.

Материал поступил в редакцию 17 февраля 2015 г.

Для цитирования: Гришин А. М., Зима В. П., Касымов Д. П. Применение взрывчатых веществ в устройствах локализации и тушения природных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 52–60. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.52-60.

English

USING EXPLOSIVE MATERIALS IN DEVICES OF LOCALIZATION AND EXTINGUISHING OF WILDLAND FIRES

GRISHIN A. M., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Honored Scientist of Russian Federation, Professor at the Department of Physical and Computational Mechanics, National Research Tomsk State University (Lenina Avenue, 36, Tomsk, 634050, Russian Federation)

ZIMA V. P., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Laboratory of Modeling and Prediction of Disasters, Mechanics and Mathematics Faculty, National Research Tomsk State University (Lenina Avenue, 36, Tomsk, 634050, Russian Federation)

KASYMOV D. P., Low Researcher of Laboratory of Modeling and Prediction of Disasters, Mechanics and Mathematics Faculty, National Research Tomsk State University (Lenina Avenue, 36, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: denkasymov@gmail.com)

ABSTRACT

Theoretical and experimental studies, conducted at Tomsk State University, have allowed to determine the structure of the wildfire flame. The pyrolysis zones and the zones containing the pyrolysis products and oxygen were found to be the most unstable during combustion of natural high-molecular compounds such as needle litter, herbage, and timber. In this case, if these zones are subjected to the shock waves, then they will be destroyed and the process of combustion will stop.

At the same time, the theoretical and experimental studies have shown that the shock waves lead to an increase in pressure in the unstable zones during interaction with these zones, which increases the efficiency of extinguishing a fire.

This approach directed to the destruction of unstable zones allows to create the new technical methods and devices for providing the safety of fireman-operators, the environmental safety through conservation of natural resources, and the high efficiency. Similar requirements are met by blasting methods: combined method of localization and suppression of ground forest and steppe fires; line charge for localization and suppression of fires, as well as a disintegrator of a ground forest fire front, technical description and characteristics which are presented in this paper.

Keywords: physical and mathematical modeling; natural and technogenic catastrophes; conjugated problems of mechanics; multiphase reacting media; shock wave; combustion; experiment.

REFERENCES

1. Grishin A. M. Matematicheskoye modelirovaniye lesnykh pozharov i novyye sposoby borby s nimi [Mathematical modeling of forest fires and new methods of fighting them]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1992. 408 p.
2. Grishin A. M., Tsimbalyuk A. F. Mathematical modeling of the stripping of combustible forest materials by explosion of a cord charge. *Combustion, Explosion and Shock Waves*, May 2006, vol. 42, issue 3, pp. 329–335. DOI: 10.1007/s10573-006-0059-x.
3. James H. Speer. A Review of "Living with fire: fire ecology and policy for the twenty-first century". *The Professional Geographer*, 2010, vol. 62, issue 1, pp. 137–138. DOI: 10.1080/00330120903446430.

4. National Interagency Fire Center. Year-to-date statistics 2013. Available at: <http://www.nifc.gov/fire-Info/nfn.htm> (Accessed 16 February 2015).
5. Vorobyev Yu. L. *Lesnyye pozgary na territorii Rossii: sostoyaniye i problemy* [Forest fires in Russia: condition and problems]. Moscow, DEKS-Press Publ., 2004. 312 p.
6. Tsarev V. A. Ekonomicheskiy ushcherb, nanesenny prirodnymi pozharemi v Rossii v 2010 godu [Economic damage caused by natural fires in Russia in the year 2010]. *Lesotekhnicheskii zhurnal — Forestry Engineering Journal*, 2012, no. 3, pp. 147–155.
7. Sullivan A. L. Chapter 5 — Grassland fire management in future climate. In: Donald L. Sparks (ed.). *Advances in Agronomy*. Academic Press, 2010, vol. 106, pp. 173–208. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)06005-0.
8. Kurbatskiy N. P., Valendik E. N. *Lokalizatsiya lesnykh pozharov nakladnymi shnurovymi zaryadami* [Isolating forest fires by pressure cord charges]. Krasnoyarsk, Krasnoyarskiy rabochiy Publ., 1970, pp. 320–332.
9. *Okhrana i zashchita lesa. Izd. 3-e* [Forest protection. 3rd ed.]. Moscow, Lesnaya promyshlennost Publ., 1969. 408 p.
10. Grishin A. M., Zima V. P. *Method of surface forest fire containment*. Patent RF, no. 2345806, 10.02.2009 (in Russian).
11. Grishin A. M., Kovalev Yu. M. Ob usilenii udarnykh voln pri vzaimodeystvii s frontom lesnogo pozhara [Strengthening of blast waves during interaction with the front of forest fires]. *Dokl. Akad. Nauk SSSR — Reports of the Academy of Sciences of USSR*, 1990, vol. 312, no. 1, pp. 50–54.
12. Kuznetsov V. T., Fil'kov A. I. Ignition of various wood species by radiant energy. *Fizika gorenii i vzryva — Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2011, vol. 47, issue 1, pp. 65–69. DOI: 10.1134/s0010508211010096.
13. Kablov V. F., Surkaev A. L., Blaginin S. I. *Method of prevention of spread of forest fire*. Patent RF, no. 2508141, 27.02.2014 (in Russian).
14. Lowden L., Hull T. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire Science Reviews*, 2013, vol. 2, no. 4, pp. 1–19. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4.
15. Maranghides A., Mell W. *Framework for Addressing the National Wildland Urban Interface Fire Problem — Determining Fire and Ember Exposure Zones using a WUI Hazard Scale*. Gaithersburg, Maryland, USA, National Institute of Standards and Technology, 2013. DOI: 10.6028/nist.tn.1748.
16. Morandini F., Silvani X. Experimental investigation of the physical mechanisms governing the spread of wildfires. *International Journal of Wildland Fire*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 570–582. DOI: 10.1071/wf08113.
17. *BFRL Initiates Studies of Wildland Urban Interface (WUI) Fires, BFRL Activities, Accomplishments and Recognitions, 2004–2005*. Available at: <http://www.bfrl.nist.gov/Annual/2004-2005/BFRL06.pdf> (Accessed 20 January 2014).
18. Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M. Climate change and forest fires. *Science of the Total Environment*, 2000, vol. 262, issue 3, pp. 221–229. DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00524-6.
19. Rinieri F., Balbi J.-H., Santoni P.-A. *On the use of an infra-red camera for the measurement of temperature in fires of vegetative fuels*. Available at: <http://qirt.gel.ulaval.ca/archives/qirt2006/papers/011.pdf> (Accessed 12 February 2015).
20. Mell W. E., Manzello S. L., Maranghides A., Butry D., Rehm R. G. The wildland-urban interface fire problem — current approaches and research needs. *International Journal of Wildland Fire*, 2010, no. 19, pp. 238–251. DOI: 10.1071/WF07131.
21. Filkov A. I., Kuzin A. Ya., Sharypov O. V., Leroy-Cancellieri V., Cancellieri D., Leoni E., Simeoni A., Rein G. A comparative study to evaluate the drying kinetics of Boreal peats from micro to macro scales. *Energy & Fuels*, 2012, vol. 26, no. 1, pp. 349–356. DOI: 10.1021/ef201221y.
22. Leroy-Cancellieri V., Cancellieri D., Leoni E., Simeoni A., Filkov A. I. Energetic potential and kinetic behavior of peats. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2014, vol. 117, no. 3, pp. 1497–1508. DOI: 10.1007/s10973-014-3912-2.
23. Grishin A. M., Zima V. P. *Combined method of isolation and extinguishing creeping forest and grassland fires*. Patent RF, no. 2458716, 20.08.2012 (in Russian).
24. Grishin A. M., Zima V. P. *Superimposed pull-cord charge for localization of ground forest and steppe fires*. Patent RF, no. 2496539, 27.10.2013 (in Russian).
25. Grishin A. M., Zima V. P. *Disintegrator of the front of a ground forest fire with a fire-extinguishing cartridge*. Inventor's Certificate RF, no. 10582, 16.08.1998 (in Russian).
26. Grishin A. M., Zima V. P., Medvedev A. V. *Device for localization of a ground forest fire and fast burning of forest combustible materials*. Inventor's Certificate RF, no. 12975, 20.03.2000 (in Russian).

27. Pokrovskiy G. I. *Vzryv* [Explosion]. Moscow, Nedra Publ., 1980. 189 p.
28. Grishin A. M., Golovanov A. N., Zima V. P., Samoylov V. I., Tsimbalyuk A. F. Ekspluatatsiya dezintegratorov pri tushenii nizovykh lesnykh pozharov [Experimental trial of the disintegrator model on the front of a ground forest fire]. *Izbrannyye doklady mezhdunarodnoy konferentsii "Matematicheskoye i fizicheskoye modelirovaniye sopryazhennykh zadach mekhaniki reagiruyushchikh sred i ekologii"* [Selected Papers of Int. Conf. "Mathematical and Physical Modeling of Conjugate Problems of the Mechanics of Reactive Media and Ecology"]. Tomsk, Tomsk State University Publ., 2000, pp. 97–101.
29. Gulyaev V. I., Ivanchenko G. M. Focusing and Scattering of Plane Shock Waves at an Interface between Anisotropic Elastic Media. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2002, vol. 43, no. 5, pp. 654–660. DOI: 10.1023/a:1019875400067.
30. Anufriev I. S., Golovanov A. N., Tsimbalyuk A. F., Sharypov O. V. Dinamika udarnykh voln v osesimmetrichnykh kanalakh s konfuzorami [Dynamics of shock waves in the cylindrical channel with confusers]. *Vestnik NGU. Seriya: Fizika — Bulletin of the NSU. Series: Physics*, 2009, vol. 4, issue 2, pp. 13–18.

For citation: Grishin A. M., Zima V. P., Kasymov D. P. Primeneniye vzryvchatykh veshchestv v ustroystvakh lokalizatsii i tusheniya prirodnnykh pozharov [Using explosive materials in devices of localization and extinguishing of wildland fires]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 52–60. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.52-60.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает книгу

Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой
ОГНЕТУШИТЕЛИ.

УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ



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

В. Д. ЗАХМАТОВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры “Экстремальные процессы в материалах и взрывобезопасность”, Институт военно-технического образования и безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: zet.pulse@gmail.com)

УДК 654.924.5

РАСПЫЛЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ОГNETУШАЩЕГО ПОРОШКА И ВОДЫ ВЫСТРЕЛОМ ИЗ СТВОЛОВ ИЛИ ЗАЛПОМ ИЗ МНОГОСТВОЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

Рассматриваются результаты преимущественно экспериментальных исследований процессов распыления огнетушащих порошков и огнетушащих жидкостей — воды выстрелом из стволовых устройств и залпом из многоствольных модулей. Получены эмпирические зависимости начальной скорости, конечной дальности и площади эффективного огнетушащего воздействия фронта газопорошкового вихря и газоводяного шквала от соотношения масс распылительного порохового заряда и распыляемого огнетушащего состава, конструкции ствола, количества и схем расстановки стволов, участвующих в залпе. Обоснован механизм распространения и аэродинамического разрушения импульсного газодисперсного континуума. Найден оптимальный диапазон массовых соотношений, позволяющих достичь максимальных значений дальности и площади распыления и тушения для определенного калибра и длины стволов.

Ключевые слова: экспериментальное моделирование; природные вихри; песчаные бури; огнетушащий порошок; водяной шквал; распыление выстрелом; распыление залпом; стволовая система; многоствольный модуль; динамика многофазных реагирующих сред; ударная волна; горение.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.61-70

Введение

С 1979 г. в целях разработки принципиально новых пожарных и защитных стационарных стволовых систем, многоствольных модулей, переносных и возимых вручную стволов и мобильных многоствольных модулей на гусеничных и колесных шасси проводились полигонные исследования в реальном масштабе и времени по струйному распылению огнетушащих и защитных порошков (ОП), жидкостей (ОЖ), гелей, сыпучих, вязких агентов и материалов выстрелами из стволовых систем и залпами из многоствольных модулей (ММ) [1, 2]. С 1992–1994 гг. на практике применяется ряд конструкций многоствольных пожарных установок, в частности 50-ствольная установка “Импульс-3” на шасси танка. Более 15 таких установок успешно эксплуатируются в объектовых пожарных частях, охраняющих атомные электростанции (Чернобыль, Балаково), нефтегазовые разработки, перерабатывающие заводы, хранилища (Уфа, Кумертау, Башкортостан; Сызрань, Самарская обл.; Гнедино, Черниговская обл.; Полтава), химические производства на территории России и Украины (Норильск, Черкассы). По мощности и огнету-

шащей эффективности воздействия они многократно превосходят наиболее совершенные образцы традиционных пневматических и гидравлических пожарных машин [3]. Однако тушение крупных пожаров, например лесных и промышленных, требует более точного определения начальных и текущих параметров процесса распространения газодисперсного вихря для составления таблиц данных по огнетушащему вихревому распылению выстрелами и залпами из нескольких стволов [4, 5]. Основная цель, которая при этом преследуется, — повышение стабильности распыления ОП и ОЖ (повторяемость от распыления к распылению таких параметров, как дальность распыления и площадь накрытия), повышение равномерности накрытия при соблюдении необходимой концентрации распыляемого состава для выполнения функциональной задачи, например тушения очагов пожара. Это позволит не только улучшить параметры струйного метания и повысить эффективность тушения, но и, главным образом, осуществить более эффективное наведение на цель операторами импульсных многоствольных модулей.

Для теоретического описания импульсной газодисперсной струи, образующейся при выбросе порошка из ствола, наиболее приемлемы методы механики многофазных сред [5–7]. Однако значительные сложности при математическом моделировании нестационарного двухфазного потока, в частности отсутствие точных данных по взаимодействию фаз потока между собой и с окружающей средой, не дают возможности создать корректную модель рассматриваемого процесса [8–10]. В [2, 3] приведены результаты исследований метания огнетушащего порошка марок ПСБ-3 и “Пирант-А” из относительно коротких (длиной до 10 калибров) труб, имеющих калибры 100, 130 и 200 мм.

Следующая серия экспериментов проводилась на хорошо оборудованном полигоне с масштабными ровными бетонными площадками, траверсами и комплексом современной измерительной аппаратуры для испытания партий специальных промышленных изделий. ОП распылялся выстрелом из непригодных для штатных испытаний (списанных) артиллерийских стволов калибром 76, 100, 122, 152 и 203 мм, длиной 10–35 калибров. Стандартные для этих артиллерийских систем гильзы снаряжали сначала пороховыми распылительными зарядами из быстросгорающих марок пороха, например дымного ДРП-1, используемого для салютных выстрелов, а затем ОП с размерами частиц 20–50 мкм. Для воспламенения зарядов применяли стандартные капсули-воспламенители, используемые в артиллерийских гильзах. Заряд размещали на дне гильзы и плотно изолировали пыжом из слоя картона и поролоната толщиной 20 мм. При этом массу навески порошка выбирали таким образом, чтобы гильза была заполнена на 80–90 % внутреннего объема. Зарядку артиллерийского орудия осуществляли по обычной схеме холостого выстрела. Артиллерийские орудия располагали на ровной бетонированной площадке возле траверса так, чтобы распыление осуществлялось в пределах бетонированной площадки и можно было наблюдать визуально и посредством видеосъемки фиксировать процесс распыления.

Рассмотрение ускорения диспергируемого агента — жидкого, порошкового или гранулированного — в рамках теории механики многофазных сред [4, 6] позволяет следующим образом описать процессы образования и распространения огнетушащей двухфазной газодисперсной струи. При ударе волны пороховых газов в зоне релаксации (за передним скачком параметров) масса агента постепенно прогревается и вовлекается в движение, а пороховые газы при этом притормаживаются. Динамические и тепловые возмущения, вносимые частицами агента в несущую газовую фазу, догоняют передний ударный фронт газа, проходящий сквозь порошковую массу, и вызывают

его затухание. Если представить массу агента в стволе в виде ряда слоев, то волна газов проходит сквозь каждый из них лишь частично, словно сквозь полупроницаемую стенку. В процессе проникновения пороховых газов происходит ускорение диспергированной массы агента и на выходе из ствола образуется однородная двухфазная струя. При этом часть продуктов взрыва обгоняет поток и образует ударный газовый фронт, за которым движется спутная газодисперсная часть струи, или струйный вихрь. Ударный фронт быстро теряет скорость под действием аэродинамического сопротивления. Газодисперсная струя сначала подпирает газовый фронт, а затем обгоняет его. После уравнивания скоростей частиц агента и частиц газа последние, как более мелкие, быстро теряют скорость и отстают. Теперь уже структурный скелет частиц агента во фронте струи действует на газовую волну подобно подпирающему полупроницаемому поршню. Лишь с этого момента встречный поток воздуха проникает внутрь струи, вытесняя пороховые газы и тормозя поток, но проникновение и торможение происходит значительно медленнее, чем в водяной или порошковой струе, в которой отсутствует несущая газовая фаза.

Текущие параметры газодисперсной струи определяли по материалам киносъемки. Камеру располагали перпендикулярно траектории движения струи на одной высоте со стволом — 1,5 м над бетонным покрытием. Для определения расстояния использовали масштабные реперы высотой 2 м, устанавливаемые на расстоянии 5 м друг от друга. Для стволов каждого калибра проведено по пять опытов.

Измерения начинали через 62,5 мс после выстрела, поскольку именно с этого момента по материалам киносъемки можно было с необходимой точностью определить скорость потока. Анализировать характер изменения скорости потока в период времени $t < 62,5$ мс не представлялось возможным, так как большую часть этого временного отрезка поток движется в канале ствола.

Установлены изменения во времени текущих значений дальности распространения фронта газодисперсного вихря L (м) и площади его эффективного воздействия S (м²) в зависимости от массы порохового заряда при распылении 10 кг мелкодисперсного ОП из ствола калибром 198 мм и длиной 2000 мм (10 калибров) (рис. 1). На рис. 2 показана зависимость дальности распространения газовой воды, полученной при распылении выстрелом 10 л технической воды, и площади его эффективного воздействия от начальной скорости фронта.

Исследована зависимость изменения начальной и текущей скорости и дальности распространения фронта вихря от массового соотношения $p = m/M$ (где m — масса порохового заряда; M — масса мета-

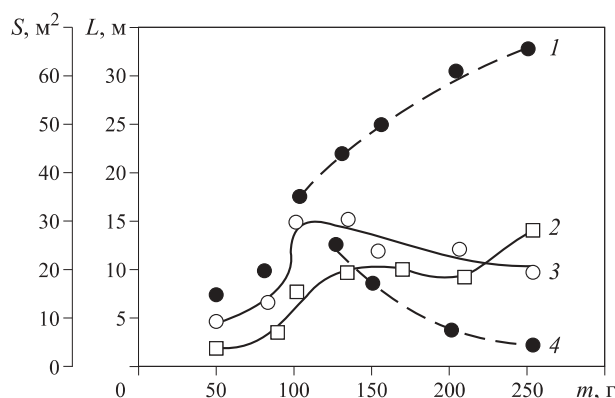


Рис. 1. Зависимость дальности движения газопорошкового конгломерата (2, 3) и площади его эффективного огнетушащего воздействия (1, 4) от массы заряда m : 1, 3 — расчетные; 2, 4 — экспериментальные

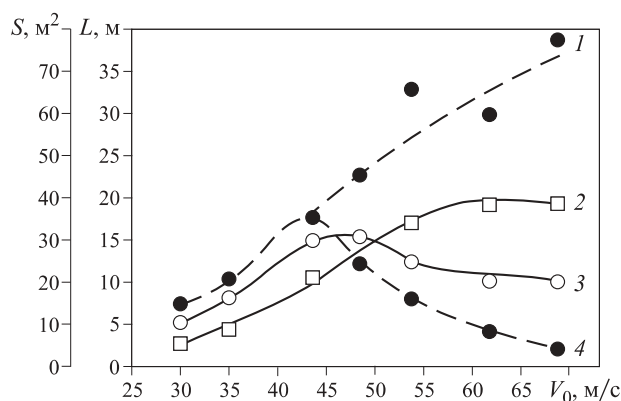


Рис. 2. Зависимость дальности движения газовой воды шквала (2, 3) и площади его эффективного воздействия (1, 4) от начальной скорости распыления V_0 : 1, 3 — расчетные; 2, 4 — экспериментальные

емого огнетушащего состава). Анализ полученных данных в рамках теории механики многофазных сред [4, 6] позволяет предложить следующие версии механизма импульсного распыления выстрелом. При $p = 0,021$ процесс формирования газопорошковой струи (смещение фаз и энергообмен — проникновение пороховых газов в цилиндрическую массу огнетушащего порошка и ускорение дисперсной фазы) завершается в стволе, так как сразу за его срезом начальная скорость газопорошковой струи $V_0 = 25$ м/с начинает уменьшаться.

Равномерная структура газодисперсной струи и сравнительно низкая скорость V_0 обуславливают малую дальность распространения струи. При $p = 0,033$ зафиксировано изменение характера распространения газодисперсной струи. За срезом ствола в течение 0,03 с скорость фронта струи $V_0 = 45$ м/с продолжает незначительно увеличиваться (до 50 м/с), а затем в течение 0,4 с наблюдается падение скорости, торможение и разрушение струи. При этом за летящим фронтом, движение которого останавливается не далее чем за 20 м от среза ствола, остается спутная

струя с более низкой скоростью, уменьшающейся по мере удаления от фронта. Анализ киноматериалов позволяет предположить, что фронт струи состоит из плотной массы ОП или ОЖ, подпрессованной взрывной волной в стволе. За его срезом спутная газодисперсная струя, содержащая несущую скоростную газовую фазу, придает ускорение уплотненному фронту до момента выравнивания их скоростей. Этот процесс подобен механизму разрушения падающей капли в поднимающемся встречном потоке воздуха [4, 6]. На конечном этапе полета струи происходит полное разрушение фронта струи, увеличение его диаметра в 1,5–2 раза и резкое торможение. Этот эффект можно объяснить потерей аэродинамической устойчивости фронта струи и проникновением воздуха внутрь фронта, что вызывает его быстрое разрушение, распыление и торможение.

При $p = 0,04$ увеличение скорости фронта ОП или ОЖ до 100 м/с происходит за время 0,1 с, которое гораздо больше, чем в рассмотренном выше случае. Время существования и дальность полета конгломерата также в 1,5 раза больше, что можно объяснить более плотной и устойчивой аэродинамической структурой порошкового конгломерата. А вот интенсивность аэродинамического разрушения конгломерата, падение скорости и поперечные размеры потока значительно меньше, чем в предыдущем случае.

При $p = 0,091$ характер процесса распространения потока резко изменяется. Сразу за срезом ствола при начальной скорости 120 м/с начинается ее резкое падение и интенсивное аэродинамическое разрушение газопорошковой струи. Из ствола вылетает не газодисперсный вихрь со сплошным фронтом, а несколько мелких конгломератов, а за ними — спутная неравномерная газодисперсная струя. Мелкие конгломераты быстро разрушаются, оставляя по траектории своего полета узкие, быстро разрушающиеся газодисперсные струйки.

Оптически плотная струйная среда, вылетающая из ствола вслед за конгломератами, быстро тормозится, разрушается и увеличивается в диаметре. Можно предположить, что сильная взрывная волна еще в стволе частично прорывается сквозь распыляемую массу. На остриях струй прорывающихся пороховых газов образуются спрессованные ими мелкие порошковые или жидкостные фрагменты. Таким образом, по характеру процессов распространения этих струй можно предположить наличие, по меньшей мере, трех основных механизмов распространения импульсного газодисперсного вихря.

При первом механизме относительно низкоскоростная струя как бы “выливается” из ствола. Она характеризуется отсутствием фронта и уплотненного взрывной волной в стволе порошкового конгломерата, поэтому на выходе из ствола сразу происходит ин-

тенсивное разрушение и торможение струи под действием аэродинамического сопротивления. Струя такого вида распространяется параллельно площади горения, покрывает значительную площадь и осаждается на ней в виде равномерного слоя порошка, не возмущая (не турбулизируя) при этом поверхность горящего материала. Такое воздействие в наибольшей степени эффективно при тушении розливов горящих жидкостей.

Второй механизм отличается от первого оптимальной интенсивностью взрывной волны, которая обеспечивает формирование в канале ствола конгломерата из ОП, устойчивого к аэродинамическому воздействию (рис. 3), что дает следующие преимущества:

- защиту струи от разрушительного аэродинамического и тормозящего воздействия, что стабилизирует процесс торможения и разрушения струи;
- увеличение дальности подачи струи и площади огнетушащего или другого защитного воздействия порошкового потока [1, 2], которое обеспечивается преимущественно фронтом потока. Главным косвенным показателем действия фронта является характер напыления порошка по площади воздействия.

Такие газопорошковые вихри обладают универсальным огнетушащим действием: могут создавать удлиненные, плоские, изолирующие завесы (газопорошковые среды), заполняющие заданные ограниченные объемы. Вихри с мощным уплотненным фронтом эффективны для тушения развитого горения конденсированных материалов и сложных горящих поверхностей, когда необходимо обеспечить напыление огромного множества частиц огнетушащего состава, проникающих в обугленный высокотемпературный поверхностный слой горящего материала.

Третий механизм отличается наиболее интенсивным распылением и торможением газодисперсной

струи. Разрушение массы ОП (ОЖ) начинается, видимо, еще в стволе, когда струи пороховых газов прорывают слой ОП (ОЖ), поэтому на срезе ствола образуется газодисперсная струя без уплотненного фронта и со значительной объемной долей несущей газовой фазы. Структура струи и механизм ее распространения ближе к первому механизму, но в отличие от него за срезом ствола струя подвергается не только аэродинамическому, но и внутреннему газодинамическому разрушающему воздействию. В результате данный механизм характеризуется наиболее интенсивным процессом разрушения и торможения струи. Вследствие высокой скорости распространения значительного запаса кинетической энергии и предположительно мультивихревой структуры (газовые струи с малой объемной долей порошка, мелкие порошковые конгломераты, газопорошковая струя со значительной объемной долей порошка) такая неоднородная нестационарная газопорошковая струя в наибольшей степени пригодна для объемного огнетушащего или взрывопредотвращающего воздействия, особенно в замкнутых ограниченных объемах.

Анализ наблюдений за процессом импульсного распыления — визуальных и по материалам видеосъемки — позволяет описать данный процесс следующим образом. При выбросе ОП (ОЖ) или низкоплотных гранул сорбента из ствола образуется равномерный, газодисперсный, вихревой, локальный фрагмент (континуум, если пользоваться терминологией механики многофазных сред) с мощной несущей газовой фазой. Кинетическая энергия газодисперсного фрагмента позволяет ему распространяться на значительное расстояние и сохранять целостность своей структуры на протяжении почти всей длины траектории полета. На всем протяжении траектории полета происходит равномерное аэродинамическое разрушение с боковой поверхности этого газодисперсного фрагмента с сопутствующим эффектом проникающего, равномерного напыления капель (частиц,



Рис. 3. Реализация второго механизма — распыление 20 кг песка выстрелом из трех стволов на дальность до 45 м

гранул) на значительной площади, например на пленке розлива нефти на поверхности водоема. Фрагмент как бы скользит по поверхности пленки, оставляя за собой равномерное сплошное покрытие гранулами сорбента участка пленки, чаще всего каплевидного, расширяющегося по траектории от среза ствола. Такое воздействие обеспечивает хороший контакт гранул с нефтяной пленкой и, соответственно, эффективное впитывание нефти порами гранул.

Изменение массы распылительного заряда позволило получить зависимости площади и дальности распыления от данного параметра. Их анализ показал наличие явно выраженных диапазонов оптимальных значений массы распылительного заряда и соответствующих начальных скоростей распыления, при которых достигаются наибольшие и стабильные значения площади и дальности эффективного воздействия. Отмечено, что от начальных значений массы зарядов и скорости распыления до указанного диапазона их оптимальных величин происходит устойчивое возрастание дальности распыления, площади равномерного покрытия и, соответственно, повышение эффективности локализации (нейтрализации) нефтяной пленки. После достижения максимальных оптимальных значений из указанного диапазона начинают проявляться различия в дальности и площадях распыления и эффективности функционального воздействия. Эти различия возрастают по мере дальнейшего повышения начальной скорости распыления V_0 .

При малых значениях m и V_0 площадь распыления S_p увеличивается по мере повышения начальной скорости распыления V_0 и в результате практически совпадает с площадью эффективного воздействия S . Однако после некоторого значения V_0 , обеспечивающего максимальные значения дальности $L_{p,p}$ и площади $S_{p,p}$ равномерного распыления, эти величины главных функциональных характеристик импульсного распыления сначала стабилизируются в относительно небольшом диапазоне V_0 , а затем начинают снижаться по мере дальнейшего увеличения V_0 . При этом все более возрастает разница между продолжающей увеличиваться замедляющимся темпом площадью фрагментарного распыления $S_{p,ф}$ (что обеспечивает лишь малоэффективную фрагментарную локализацию и дезактивацию нефтяной пленки S), прогрессивно уменьшающейся площадью сплошного распыления $S_{сп}$ и, соответственно, площадью эффективного сплошного воздействия, локализующего и дезактивирующего нефтяную пленку. При этом условием эффективного воздействия является равномерное распределение сорбента по поверхности нефтяной пленки при удельном расходе от 15 до 25 г/м².

Это происходит по той причине, что характер распыления изменяется: появляется эффект фрагментарности, т. е. несплошного и неравномерного накрытия площади распыляемыми гранулами или накрытия ряда участков с малой плотностью, с удельным расходом менее минимального, обеспечивающего полную локализацию нефтяной пленки на единице площади. По мере дальнейшего роста массы заряда и начальной скорости распыления увеличивается суммарная площадь фрагментарного и сокращается суммарная площадь сплошного распыления при удельном расходе более минимального и, соответственно, снижается эффективность функционального воздействия. Важно, что при этом прогрессивно уменьшается абсолютная величина площади сплошного эффективного распыления и функционального воздействия (тушения, локализации и дезактивации). Установление закономерности возрастания, стабилизации и последующего уменьшения площади эффективного воздействия по мере возрастания начальной скорости распыления позволяет утверждать, что достоверно определен рабочий практический диапазон значений начальных параметров потока, обеспечивающих оптимальное, т. е. наиболее эффективное, импульсное функциональное воздействие (локализацию и нейтрализацию) на разливы нефти.

Получены зависимости дальности распространения струеобразных вихрей из стволов различных длин и калибров от параметра V_0 . Из них видно, что оптимальным является диапазон значений $V_0 = 60 \div 100$ м/с, причем оптимальные значения V_0 возрастают с увеличением калибра ствола. При увеличении длины ствола заметно возрастает дальность распространения струи при определенной величине V_0 . Это дает основание сделать вывод о том, что увеличение массы метаемого порошка и времени взаимодействия в стволе пороховых газов с метаемым агентом повышает степень уплотненности конгломерата и, как следствие, аэродинамическую устойчивость фронта вихря — его живучесть на траектории полета.

Таким образом, установлено, что имеется оптимальный диапазон массовых соотношений метательного заряда и метаемого огнетушащего состава, позволяющий достичь максимальной дальности подачи газопорошковой струи. Этот диапазон справедлив для различных калибров и длин стволов. Длительность процесса распространения газопорошковой струи, ее аэродинамического разрушения, торможения и превращения в малоподвижное газопорошковое облако не превышает 0,5–0,6 с. Этот показатель справедлив для различных масс распыляемых порошков. Данные результаты дают возможность оптимизировать процесс создания газопорошковых струй и определить время их функционального воздействия.

Анализ распыления агентов выстрелом из одного ствола позволил сделать следующие выводы:

1. В данных сериях экспериментов удалось однозначно определить оптимальные диапазоны значений V_0 и m для определенной массы распыляемого защитного агента (воды, порошка или сорбента). Эти диапазоны обеспечивают недостижимую другими методами и техникой дальность распыления выстрелом из одного ствола или залпом из системы стволов массы агента в определенном диапазоне значений V_0 и m и равномерное распределение его на значительной площади (до $10-10^4 \text{ м}^2$) при диапазоне удельных расходов, обеспечивающих сплошной масштабный эффект тушения, локализации или нейтрализации. Например, 1,5 кг сорбента распыляются на расстояние до 12 м и равномерно распределяются по площади до 35 м^2 при диапазоне удельных расходов от 15 до 25 г/м^2 . Поэтому данный режим распыления можно классифицировать как эффективный и оптимальный. Внимательный осмотр зоны нефтяного разлива, покрытой равномерным слоем распыленного сорбента, показал, что большая часть гранул сорбента (до 80–90 %) эффективно впитывает и перерабатывает нефтяную пленку менее чем за 2 ч, как и в случае ручного распыления сорбента. При этом потери сорбента в пределах 10–20 % от исходной распыляемой массы в 5–20 раз меньше, чем потери при распределении сорбента на площади 35 м^2 традиционным методом — вручную с помощью лопаты или совка. Залповое распыление сорбентов демонстрирует высокую дальность и значительные масштабы распыления (рис. 4), практически недостижимые при использовании пневматической и механической техники.

2. Установлены предельные значения дальности и площади импульсного распыления жидких, порошковых, низкоплотных гранулированных агентов из одного ствола, которые невозможно (и нецелесообразно) значительно повысить путем простого увеличения массы распыляемого состава и распылительного заряда, а также начальной скорости распыления V_0 . Данные показатели значительно превышают ранее имевшиеся, но очевидно, что они недостаточно велики, чтобы обеспечить широкое практическое применение новой техники для тушения и защиты. Необходимо искать новые пути для более значительного повышения основных показателей эффективности импульсного распыления огнетушащих и защитных агентов.

Анализ предшествующих исследований показал наибольшую перспективность залпового распыления для увеличения дальности и площади импульсного распыления агентов [1, 2] (см. рис. 4). Серия экспериментов проводилась с целью определения возможности посредством залпового распыления уве-



Рис. 4. Фрагменты импульсного распыления 1,5 кг биосорбента плотностью $0,15 \text{ г/см}^3$ из одного ствола (а) и залпового распыления 7,5 кг биосорбента из пяти стволов (б)

личить дальность и площадь распыления агентов (жидких, порошковых, гранулированных) по цели: на горящую площадь, в токсичное или радиоактивное облако, на нефтяную пленку и др. Наибольшее практическое значение имели зависимости изменения дальности и площади распыления агентов по цели от расстояния между соседними стволами, участвующими в залпе, и их общего количества.

Испытания проводились в широком диапазоне погодных и климатических условий — от спокойной погоды до ветреной, с часто меняющимися направлением и скоростью ветра, что достаточно хорошо имитирует реальную, наиболее вероятную обстановку открытого моря. При этом из-за сильного ветра затруднительно корректно фиксировать динамику изменения размеров и формы фронта вихря, насыщенного каплями, частицами или гранулами агента. Поэтому фиксировались только визуально наблюдаемые и фиксируемые на видео очевидные результаты функционального воздействия: площадь и дальность распыления агента на поверхности земли или по цели (потушенной площади или покрытой слоем гранул сорбента поверхности водоема с фрагментами нефтяной пленки).

Сначала экспериментально определялось оптимальное расстояние между двумя соседними стволами, инициируемыми одновременно в одном залпе. Анализ полученных данных позволил установить,

что оптимальными схемами расстановки стволов в залпе являются: в одном ряду — соседние через 1 ствол и в двух рядах — шахматная расстановка. Для определения оптимального количества стволов, участвующих в залпе из многоствольного модуля, выбраны следующие структурные схемы их расстановки:

- 2 ствола в одном ряду, находящиеся через 1 ствол;
- 3 ствола в одном ряду, находящиеся через 1 ствол;
- 4 ствола в “шахматной” компоновке: по 2 в различных рядах;
- 5 стволов в “шахматной” компоновке, расположенные снизу вверх: 3 + 2;
- 6 стволов по 3 в каждом ряду, расположенные один над другим по вертикали и через 1 ствол по горизонтали;
- 7 стволов, расположенные снизу вверх: 4 + 3;
- 8 стволов, расположенные снизу вверх: 4 + 4;
- 9 стволов, расположенные снизу вверх: 5 + 4.

Таким образом, очевидно, что при количестве стволов более пяти экспериментально установленные оптимальные расстояния между ними в одном горизонтальном ряду и в соседних рядах по вертикали нарушаются пропорционально увеличению количества стволов в залпе. Это не может не сказаться отрицательно на конфигурации получаемого при залпе газодисперсного вихревого фрагмента и на площади его эффективного воздействия. Анализ результатов экспериментов данной серии убедительно показал главное преимущество импульсного залпового распыления — свойственное только газодисперсным вихрям взаимное усиление и слияние при оптимальном взаимодействии его элементов. Такое взаимодействие позволяет повысить масштабы суммарного воздействия вихря в 1,5–2,5 раза по сравнению с арифметической суммой площадей воздействий его отдельных элементов. Это преимущество позволяет значительно увеличить дальность функционального воздействия вихря до 53 м (в 4,5 раза больше

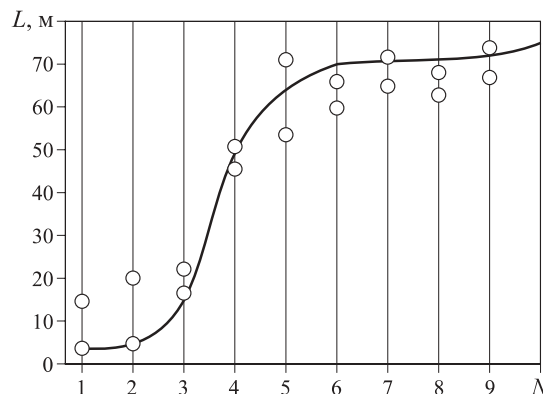


Рис. 5. Зависимость дальности распыления от количества стволов N , участвующих в залпе

по сравнению с распылением выстрелом из одного ствола) и площадь равномерного распыления биосорбента до 450 м² при залпе из пяти стволов, расположенных в шахматном порядке (в 2,3 раза больше, чем сумма отдельных площадей эффективного воздействия при последовательном распылении из пяти стволов). Для сравнения, залповое воздействие боевых ракет или снарядов увеличивает масштабы их площади поражения не более чем в 1,5 раза по сравнению с арифметической суммой площадей поражения такого же количества отдельных взрывов ракет и снарядов. Дальность их полета при залпах не увеличивается. Есть основания предположить, что импульсно-распылительные ММ с боеприпасами для них вполне сравнимы по надежности, стабильности и масштабам воздействия с современными реактивными системами залпового огня.

Для версии распыления низкоплотного сорбента установлено оптимальное количество стволов от 4 до 6 в залпе из ММ–10, что позволяет обеспечить максимальную площадь равномерного накрытия биосорбентом при его минимальном удельном расходе от 15 до 25 г/м² (рис. 5). Визуальный регулярный, с интервалом 10 мин, осмотр разлива нефтепродукта, покрытого гранулами биосорбента, в течение 3 ч



Рис. 6. Испытания 9-, 20- и 30-ствольных модулей в Китае



после распыления позволил зафиксировать эффективную работу более 90 % распыленной массы биосорбента.

Фронт потока скользит по поверхности нефтяной пленки, имея с ней непосредственный контакт по всей траектории своего распространения, и происходит проникающее сплошное напыление — внедрение частиц адсорбента в слой нефтяной пленки по всей ее площади, над которой проходит фронт потока. Такой метод напыления адсорбента является универсальным для распыления самых различных видов сорбентов по площади экологически вредного разлива или горячей жидкости. Распыление жидких агентов по заданному объему возможно также с помощью импульсных систем распыления. Импульсный вихрь широким фронтом проходит по всему заданному объему, при этом равномерно распыляется агент, который движется не только поступательно, но и вихреобразно, что значительно повышает эффективность тушащего, локализирующего, нейтрализующего действия частиц агента по объему экологически опасного газа или аэрозоля.

Достаточно убедительные испытания были проведены в декабре 2014 г. с целью демонстрации возможностей суммарного действия различных ММ по созданию многократной защиты опасного участка. В испытаниях участвовали три ММ: ММ-20 — первый залп с дистанции 100 м, ММ-30 — второй залп с дистанции 120 м, ММ-9 — третий залп с дистанции 85 м (рис. 6). Модельный очаг был потушен первым же залпом, а следующие два лишь продемонстрировали реальную, технически несложную и недорогую реальную возможность многократной, надежной, безотказной, программируемой и гибко управляемой

защиты заданного опасного участка. Защита может быть осуществлена комбинированным способом, включающим: 1) разрушение и охлаждение обугленной высокотемпературной поверхности горения; 2) ингибирование; 3) сбивание пламени; 4) изолирование от доступа теплового потока и кислорода. Это может быть достигнуто путем программируемого распыления различных огнетушащих составов залпами по различным схемам с заданными интервалами.

Таким образом, анализ экспериментальных результатов позволил получить эмпирические зависимости начальной скорости, конечной дальности и площади эффективного огнетушащего воздействия фронта газопорошкового вихря и газовойдыного шквала от соотношения масс распылительного порохового заряда и распыляемого огнетушащего состава, конструкции ствола, количества и взаимной расстановки стволов, участвующих в залпе. Обоснован механизм распространения и аэродинамического разрушения импульсного газодисперсного континуума. Найден оптимальный диапазон массовых соотношений, позволяющих достичь максимальных значений дальности и площади распыления и тушения для определенного калибра и длины стволов. Убедительно показана высокая перспективность дальнейших исследований ММ и их практического применения при защите крупноразмерных цехов, ангаров, нефтедобывающих платформ, открытых технологических установок, танкеров, оснащения аварийно-спасательных кораблей и шасси пожарных и военных машин для создания новых мобильных пожарных и аварийно-спасательных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Silnikov M. V., Chernyshov M. V.* The interaction of Prandtl-Meyer wave and quasi-one-dimensional flow region // *Acta Astronautica*. — 2015. — Vol. 109. — P. 248–253. DOI: 10.1016/j.actaastro.2014.11.010.
2. *Uskov V. N., Chernyshov M. V.* Extreme shockwave systems in problems of external supersonic aerodynamics // *Thermophysics and Aeromechanics*. — 2014. — Vol. 21, No. 1. — P. 15–30. DOI: 10.1134/s086986431401003x.
3. *Silnikov M. V., Chernyshov M. V., Uskov V. N.* Two-dimensional over-expanded jet flow parameters in supersonic nozzle lip vicinity // *Acta Astronautica*. — 2014. — Vol. 97. — P. 38–41. DOI: 10.1016/j.actaastro.2013.12.010.
4. *Захматов В. Д.* Техника многоплановой защиты. — Киев : ИПМ АН СССР, 1991. — 124 с.
5. *Захматов В. Д., Цикановский В. Л., Кожемякин А. С.* Струйное метание огнетушащих порошков из стволов // *Физика горения и взрыва*. — 1998. — Т. 34, № 1. — С. 106–110.
6. *Нугматулин Р. И.* Динамика многофазных сред: в 2 ч. — М. : Наука, 1987. — Т. 1. — 464 с.; т. 2. — 360 с.
7. *Захматов В. Д.* Ударно-волновые механизмы импульсного пожаротушения // *Сб. докладов 3-го Минского международного colloквиума по физике ударных волн, горения и детонации*. Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова, 12–15 ноября 2013 г. — Минск, 2013. — С. 100–101.
8. *Авдеевский В. С., Ашратов Э. А., Иванов А. В., Пирумов У. Г.* Газодинамика сверхзвуковых неограниченных струй. — М. : Машиностроение, 1989. — 320 с.

9. Дулов В. Г., Лукьянов Г. А. Газодинамика процессов истечения. — Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1984. — 234 с.
10. Bernal L. P., Roshko A. Streamwise vortex structure in plane mixing layer // Journal of Fluid Mechanics. — 1986. — Vol. 170, No. 1. — P. 499–525. DOI: 10.1017/s002211208600099x.

Материал поступил в редакцию 19 декабря 2014 г.

Для цитирования: Захматов В. Д. Распыление мелкодисперсного огнетушащего порошка и воды выстрелом из стволов или залпом из многоствольных модулей // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 61–70. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.61-70.

English

PULSE PULVERIZATION OF THIN-DISPERSED EXTINGUISHING POWDER AND WATER BY SHOOT OR VOLLEY OUT OF MULTI-BARRELS MODULES

ZAKHMATOV V. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Extreme Processes in Materials and Explosion Safety Department, Institute of Military Engineering and Safety Research of Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (Politeknicheskaya St., 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; e-mail address: zet.pulse@gmail.com)

ABSTRACT

There are investigated the dates of zero speed, maximal range and area of extinguishing influence of the fronts of gas-powder whirly and gas-water squall, created with jet's configuration pulse pulverize and spray out of barrels by shoot and volley. There are proposed the mechanisms of flight and air-destruction of gas-dispersive fronts of whirly and squall. There are showed optimal diapason of maximal values of range and area of: uniform and fragmentary powder's pulverization or water's spray and extinguishing for definitude calibers and long of barrels. There are showed most perspective way of increase range and area of uniform extinguishing — volley spray. It regime showed optimal diapason of maximal values of range and area despite of amount of barrels in the volley. There are proposed same way of improvement traditional fire-hoses by creation and experimental investigation of new unit, made of two and over hoses, closely and parallel mounted, for joint intermediation of neighbored jets.

Keywords: experimental modeling; natural whirlwinds; sand storms; extinguishing powder; water squall; pulse-shoot pulverization; volley pulverization; barrel system; multi-barrels module; dynamics of the multiphase reacting environments; shock wave; combustion.

REFERENCES

1. Silnikov M. V., Chernyshov M. V. The interaction of Prandtl-Meyer wave and quasi-one-dimensional flow region. *Acta Astronautica*, 2015, vol. 109, pp. 248–253. DOI: 10.1016/j.actaastro.2014.11.010.
2. Uskov V. N., Chernyshov M. V. Extreme shockwave systems in problems of external supersonic aerodynamics. *Thermophysics and Aeromechanics*, 2014, vol. 21, no. 1, pp. 15–30. DOI: 10.1134/s086986431401003x.
3. Silnikov M. V., Chernyshov M. V., Uskov V. N. Two-dimensional over-expanded jet flow parameters in supersonic nozzle lip vicinity. *Acta Astronautica*, 2014, vol. 97, pp. 38–41. DOI: 10.1016/j.actaastro.2013.12.010.
4. Zakhmatov V. D. *Tekhnika mnogoplanovoy zashchity* [Technique of multi-purpose protection]. Kiev, IPM AN USSR Publ., 1991. 124 p.
5. Zakhmatov V. D., Tsikanovskiy V. L., Kozhemyakin A. S. Struynoye metaniye ognetyushashchikh poroshkov iz stvolov [Jet propellant of extinguishing powders from barrels]. *Fizika goreniya i vzryva — Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 1998, vol. 34, no. 1, pp. 106–110.
6. Nigmatulin R. I. *Dinamika mnogofaznykh sred* [Dynamics of multiphase mediums]. Moscow, Nauka Publ., 1987. Part 1, 464 p. Part 2, 360 p.

7. Zakhmatov V. D. Udarno-volnovyye mekhanizmy impulsnogo pozharotusheniya [Shock-wave mechanism of pulse extinguishing]. *Sb. докладов 3-go Minskogo mezhdunarodnogo kollokviuma po fizike udarnykh voln, goreniya i detonatsii. Institut teplo- i massoobmena im. A. V. Lykova, 12–15 noyabrya 2013 g.* [Book of reports of 3rd Minsk International Colloquium for Physics of Blow Wave, Combustion and Detonation. Institute of Heat-mass Transfer named A. V. Lykov, 12–15 November 2013]. Minsk, 2013, pp. 100–101.
8. Avduevskiy V. S., Ashratov E. A., Ivanov A. V., Pirumov U. G. *Gazodinamika sverkhzvukovykh neobratimyykh struy* [Gas-dynamics of high-speed jets]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1989. 320 p.
9. Dulov B. G., Lukyanov G. A. *Gazodinamika protsessov istecheniya* [Gas-dynamic of fluid process]. Novosibirsk, Nauka Publ., Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1984. 234 p.
10. Bernal L. P., Roshko A. Streamwise vortex structure in plane mixing layer. *Journal of Fluid Mechanics*, 1986, vol. 170, no. 1, pp. 499–525. DOI: 10.1017/s002211208600099x.

For citation: Zakhmatov V. D. Raspyleniye melkodispersnogo ognetushashchego poroshka i vody vystrelom iz stvolov ili zalpom iz mnogostvolnykh moduley [Pulse pulverization of thin-dispersed extinguishing powder and water by shoot or volley out of multi-barrels modules]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 61–70. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.61-70.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает книги

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ



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

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

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

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. РЕФОРМЫ ПРОДОЛЖАЮТСЯ, ПРОБЛЕМЫ ОСТАЮТСЯ

© В. С. ТИМОШИН, инженер пожарной безопасности
(Россия, г. Москва; e-mail: vladi-timoshin@yandex.ru)

Показано, что существующая сегодня система нормативно-правового регулирования в области пожарной безопасности неидеальна, поэтому ее реформирование жизненно необходимо. Установлено, что ситуация, при которой одним и тем же вопросом занимаются сразу несколько министерств, ненормальная, что проектировать по нормативно-техническим документам, разрабатываемым в разных ведомствах и содержащих не всегда однозначные, а порой и просто противоречивые требования к проектированию противопожарной защиты зданий и сооружений, невозможно.

Ключевые слова: пожарная безопасность; строительство; нормативно-правовое регулирование; своды правил; актуализированные СНИПы; специальные технические условия; проектирование; противопожарная защита.

DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.71-75

Постановление Правительства РФ от 26.12.2014 г. № 1521 (далее — Постановление [1]), определившее перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований “Технического регламента о безопасности зданий и сооружений” (Федеральный закон № 384-ФЗ) (далее — ФЗ 384 [2]), фактически исключает из системы нормативно-правового регулирования в области пожарной безопасности принцип “гибкого нормирования”. Этот принцип, предусмотренный ст. 6 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” (Федеральный закон № 123-ФЗ) (далее — Технический регламент [3]), позволяет проектировщикам при обязательном соблюдении требований Технического регламента отступать от требований нормативных документов по пожарной безопасности (далее — пожарные своды правил (СП)) путем проведения расчетов пожарного риска.

Теперь все будет намного проще и понятнее: или соблюдай обязательные требования актуализированных редакций строительных норм и правил (далее — актуализированные СНИПы), или разрабатывай специальные технические условия (СТУ). Все в полном соответствии с требованиями ст. 5 и 6 ФЗ 384 [2]. Тем более что все требования, связанные с обеспечением пожарной безопасности, которые изложены в актуализированных СНИПах, а ранее согласно распоряжению Правительства РФ № 1047-р (далее — распоряжение № 1047-р [4]) в строительных нормах и правилах (далее — СНИПы) носили рекомендательный характер (например, пп. 7.1.2 и 7.1.6 СНИП 31-01-2003 [5], пп. 7.1.2, 7.1.3 и 7.1.6 СП 54.13330.2011 [6]), теперь перешли в разряд “обязательных”. Что же касается требований, содержав-

шихся в пожарных СП, то их или спокойно перенесли в актуализированные СНИПы в качестве ссылок (например, пп. 5.23 и 5.24 СП 56.13330.2011 [7], разд. 8 СП 60.13330.2012 [8]), или просто дублировали пункты, изложенные в пожарных СП (например, пп. 6.11.8 и 6.2.7 СП 4.13130.2013 [9]; п. 4.6 СП 113.13330.2012 [10]; п. 5.16 СП 56.13330.2011 [7] и т. д.).

Таким образом, все документы в системе стандартизации (независимо от того, к какой сфере деятельности они относятся — к обеспечению пожарной безопасности или к строительству) полностью или частично автоматически переходят в область технического регулирования, главным принципом которого является применение и исполнение обязательных требований. Можно понять, если разговор идет о нормативно-технических документах в области строительства, которые согласно ст. 5' Федерального закона № 184-ФЗ “О техническом регулировании” (далее — ФЗ 184 [11]) и так входят в сферу действия ФЗ 384 [2], но при чем здесь нормативные документы по пожарной безопасности, исполнение которых на добровольной основе подтверждает выполнение ФЗ 123 [3], непонятно.

Технический регламент [3] и пожарные СП разработаны МЧС России в соответствии с ФЗ 184 [11] и Указом Президента Российской Федерации от 11.07.2004 г. № 868 [12], и именно по ним инспектора Государственного пожарного надзора будут проводить проверки противопожарного состояния объектов, как действующих, так и принятых в эксплуатацию органами государственного строительного надзора. Какое отношение данные документы имеют к Министерству строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой), совершенно непонятно.

В связи с этим возникает только один вопрос: почему же тогда согласно п. 4 Постановления [1] именно МЧС должен привести свои документы в соответствие с документами Минстроя?

Последние пять лет оба министерства очень активно разрабатывали своды правил и актуализировали СНиПы, но ни один из новых документов, содержащий или пожарные, или строительные требования, после его разработки так и не был направлен на согласование в то министерство, которое по закону отвечает за свое направление деятельности. Кроме того, в составе исполнителей документов, как правило, не было представителей научно-исследовательских и образовательных учреждений или МЧС, или Минстроя (исключение составляет, пожалуй, только СП 60.13330.2012 [8]). Почему-то раньше, до вступления в силу ФЗ 184 [11], нормативные документы, затрагивающие вопросы, входящие в компетенцию органов надзора, в обязательном порядке согласовывались с этими органами, и ни у кого это не вызывало каких-либо возражений или сомнений.

Еще 23.11.2012 г. на Круглом столе во ВНИИПО МЧС России “Проблемы реализации положений нормативных правовых актов Российской Федерации и нормативных документов по пожарной безопасности” были выдвинуты предложения по подготовке проекта регламента взаимодействия МЧС и Минрегиона при разработке нормативных документов, содержащих требования пожарной безопасности, но они, к сожалению, так и не были реализованы. Точно так же, как не были услышаны замечания, изложенные в заключении Минэкономразвития России об оценке регулирующего воздействия на проект распоряжения № 1047-р [4], где было конкретно указано на необходимость исключения из проекта перечня разделов нормативных документов, содержащих требования пожарной безопасности.

Так почему же только МЧС должен в одностороннем порядке править свои документы? Да, у каждого министерства в своей области деятельности свои задачи по реализации государственной политики, но ведь цель-то все равно общая — защита жизни и здоровья граждан. Значит, и работа по приведению всех нормативных документов в соответствие друг с другом и действующим законодательством должна быть совместной. Не думаю, что есть какие-то очень серьезные проблемы, которые мешали бы двум уважаемым ведомствам наконец-то прийти в данном вопросе к единому мнению.

То, что и пожарные СП, и актуализированные СНиПы нуждаются если не в полном пересмотре, то хотя бы в корректировке, понятно всем. Уже само наличие двойной системы нормативных документов вызывает недоумение, не говоря о том, что в них требования или дублируются, как было сказано ра-

нее, или (что еще хуже) противоречат друг другу. Например, в СП 118.13330.2012 [13] высота общественных зданий, на которые не распространяются требования действующих нормативных документов, составляет 55 м, а в СП 4.13130.2013 [9] — 50 м; в п. 6.9 [13] ширина лестничных маршей для детских дошкольных учреждений принята равной 1,2 м, а в п. 5.2.5 СП 1.13130.2009 [14] — 1,35 м и т. п. Таких противоречий довольно-таки много.

В такой ситуации что остается делать проектировщикам?

В любом учреждении экспертизы Вам однозначно скажут: со вступлением в силу Постановления [1] проектировать нужно только с учетом актуализированных СНиПов, а при наличии вопросов можно обращаться к разработанным Минстроем Методическим рекомендациям по применению перечня (далее — Рекомендации [15]). Вот только данные Рекомендации, к сожалению, не на все вопросы дают ответы.

Как расценивать формулировку “как правило”, если она указывается в пункте, подлежащем обязательному исполнению? Согласно п. 7 Рекомендаций [15] данная формулировка должна расцениваться как рекомендательная, и решение о выполнении требования должно приниматься застройщиком. Значит ли это, что при соответствующем обосновании застройщик (заказчик) может отступить от обязательного требования и не разрабатывать СТУ? Например, если учебные корпуса учреждений среднего и высшего профессионального образования должны быть, как правило, не выше 9 этажей (см. п. 6.94 [13]) или если указано, что не следует, как правило, размещать под зрительным залом вентиляционные камеры (см. п. 4.15 [13]), то, посчитав пожарный риск или предусмотрев противопожарное перекрытие между подвалом и первым этажом, можно ли запроектировать учебные корпуса высотой 10 этажей и более, предусмотрев в подвале венткамеры? Следуя логике ФЗ 384 [2], этого делать нельзя, а согласно Рекомендациям [15], получается, можно.

Не совсем понятен механизм выполнения требований, изложенных в пунктах, носящих рекомендательный характер и содержащих указания на необходимость соблюдения требований с формулировками: “при соответствующем обосновании”, “преимущественно”, “рекомендуется”, “могут” и т. п. А если в них таких формулировок нет, то что это значит? Что они становятся обязательными?

Обратите внимание, что в основной части рекомендательных пунктов используются слова “должны”, “следует предусматривать”, “следует размещать”, “следует принимать”, “следует проектировать” и др. Как быть в этом случае и как доказать эксперту, что выполнение данных пунктов необязательно? Осо-

бенно интересна ситуация, когда проектировщикам при реализации обязательного пункта фактически надо выполнять требования, изложенные в пункте, содержащем рекомендательные требования. Например, в п. 5.1.39 [10] допускается в надземных автостоянках закрытого типа устраивать неизолированные ramпы, а в п. 5.1.30 того же свода правил, носящем рекомендательный характер, прописаны условия, при которых возможно их устройство. Не думаю, что в учреждениях экспертизы будут рассматривать какие-то альтернативные предложения.

Или как расценивать тот факт, что почти во всех актуализированных СНиПах даются ссылки или на требования ФЗ 123 [3], уже давно отмененные, или на пожарные СП, утратившие силу после выхода взамен их новых (например, СП 2.13.130.2012 [16] взамен СП 2.13.130.2009 и т. п.)? Так, в пп. 7.1 и 15.1 СП 42.13330.2011 [17] прописано, что все противопожарные требования при градостроительной деятельности (к противопожарным расстояниям между зданиями, к устройству проездов и подъездов к зданиям) следует принимать с учетом ФЗ 123 [3]. Мы же не можем не выполнить закон! Правда, не совсем понятно, как мы учтем эти требования, которые с 2012 г. из этого закона исключены (согласно Федеральному закону № 117-ФЗ от 10.07.2012 г. [18]) и перенесены в пожарные СП, а их требования являются рекомендательными.

Как быть, когда в одном и том же документе некоторые пункты определяются и как рекомендательные, и как обязательные (см. пп. 4.6 и 5.1.48 [13])?

Бесспорно, уже сам факт наличия таких Рекомендаций [15] — большая помощь и проектировщикам, и экспертам, но не менее важно при этом, чтобы они были более конкретными и не позволяли каждому по своему усмотрению трактовать те или иные требования. Например, пункт, содержащий рекомендательные требования, при любом указании на необходимость его соблюдения не может трактоваться как обязательный, или наличие в пункте, содержащем обязательные требования, указания на допустимость применения того или иного решения обозначает лишь то, что данное решение может применяться застройщиком (техническим заказчиком) в виде исключения, как вынужденное (вследствие стесненных условий, ограниченных ресурсов необходимого оборудования, материалов и т. п.), а не является основанием для разработки СТУ или для проведения дополнительных обоснований и расчетов. Так, одно время проектировщики по требованию органов экспертизы были вынуждены разрабатывать СТУ для объектов, в которых связь встроенной подземной автостоянки с надземными этажами здания другого назначения обеспечивалась лифтами,

несмотря на то что в нормативных требованиях такое сообщение просто “допускалось”.

В самом начале статьи было сказано о том, что при любом отступлении от обязательных требований актуализированных СНиПов необходимо будет разрабатывать СТУ. После вступления в силу Постановление [1] станет одним из главных документов в области проектирования, и требование к наличию расчета пожарного риска уже не позволит избежать (как это было ранее) долгого и дорогого процесса его разработки и согласования.

Нельзя не отметить и еще один момент. В настоящее время назревает проблема с согласованием СТУ. Раз актуализированные СНиПы с МЧС не согласованы, то, соответственно, они не могут служить основанием для разработки СТУ, а в большинстве тех же актуализированных СНиПов пожарные требования даже не собраны в один единый раздел, а разбросаны по всему документу. Как теперь, после выхода приказа Минрегиона № 36 (далее — приказ № 36 [19]), можно будет определить, где пожарные, а где строительные СТУ? И самое главное, кто это будет делать? Эксперт на стадии представления материалов в учреждения экспертизы или заказчик на стадии разработки технического задания? В органах экспертизы Вам ничего не скажут, ссылаясь на свои внутриведомственные документы. Значит, опять действовать на свой страх и риск?..

Далее, следуя логике многострадального приказа № 36 [19], сначала отмененного, а потом опять утвержденного, СТУ являются техническими нормами, содержание которых должно соответствовать структуре нормативных документов, и в них нельзя указывать положения, содержащиеся в действующих нормах. По сути, это нормативный документ, который согласно ГОСТ 1.1–2002 [20] должен устанавливать правила, общие принципы или характеристики, касающиеся объекта проектирования.

Когда речь идет о высотных зданиях или сооружениях, заглубленных более чем на 15 м, или об ином особо сложном и уникальном здании, вопросов не возникает. Требования к ним в действующих нормативно-технических документах отсутствуют, поэтому такой документ, как СТУ, просто необходим. Не выполнить мероприятия, предусмотренные данным документом, равносильно невыполнению Технического регламента [3], так как после согласования СТУ они фактически становятся для проектируемого объекта тем же регламентом, содержащим обязательные требования. Не совсем понятна в таком случае причина, по которой запрещается включать в него отдельные положения из сводов правил, содержащих требования рекомендательного характера. Ведь даже во многих пожарных СП есть указание на возможность их использования при разра-

ботке СТУ (см. п. 1.4 СП 1.13130.2009 [14] и п. 1.5 СП 5.13130.2009 [21]).

Необходимость разработки СТУ для зданий, на которые отсутствуют нормы проектирования, более или менее понятна, а вот что из себя представляют СТУ, разрабатываемые при отступлении от требований нормативных документов, — не совсем. Смысл данного документа заключается в основном только в разработке компенсирующих мероприятий для обоснования отступлений, и нет вообще никакого смысла не только переписывать в него положения нормативных документов, но и давать ссылки на них. Зачем? Ведь нормы-то существуют.

Раньше, до появления ФЗ 184 [11], при отступлении всегда разрабатывались компенсирующие мероприятия, которые согласовывались с противопожарной службой МЧС (см. п. 1.6 СНИП 21-01-97* [22]), что ни у кого не вызывало вопросов. Теперь же это стало называться СТУ, хотя, по сути, к СТУ это не имеет никакого отношения. Однако факт есть факт, и скоро этот документ окончательно может заменить не только актуализированные СНИПы, но и пожарные СП, потому что и в законопроекте № 763980-6 [23] также указано на необходимость разработки СТУ при отступлении. Посудите сами, можно ли выполнить все требования сегодняшних нормативных документов? Думаю, что нет. Только посмотрите, что получается: превысил расстояние до эвакуационного выхода хотя бы на 2–3 м, не удалось обес-

печить ширину лестничного марша в лестничной клетке при реконструкции здания, не предусмотрел в подвале окна с прямыми и т. п. — разрабатывай СТУ. Особенно часто это будет требоваться при реконструкции здания и при изменении его функционального назначения.

Необходимо срочно, пока еще есть время, кардинально изменить подход к вопросам проектирования, основанный сейчас на необходимости разработки СТУ по любому отступлению от нормативных документов. Почему нельзя передать полномочия по согласованию отступлений от требований пожарной безопасности МЧС — министерству, которое наделено государством функциями по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в данной сфере? Что мешает создать межведомственную комиссию по выработке единой консолидированной позиции по вопросам нормативно-правового регулирования в области обеспечения пожарной безопасности?

Одни вопросы и вопросы. Нельзя допустить, чтобы проектировщики стали заложниками искусственно созданной ситуации. Пора, наконец, всем заинтересованным министерствам сесть за стол переговоров и выработать механизм, который позволит определить “правила игры” для всех участников строительного процесса (инвестор, заказчик, проектировщик, эксперт, строитель и т. д.), а главное, привести их к пониманию того, что делать и как быть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений” : постановление Правительства РФ от 26.12.2014 № 1521. URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173491 (дата обращения: 03.05.2015).
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ; принят Гос. Думой 23.12.2009; одоб. Сов. Федерации 25.12.2009 // Собр. законодательства РФ. — 04.01.2010. — № 1, ст. 5.
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. Федер. закона от 10.07.2012 № 117-ФЗ) : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одоб. Сов. Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
4. Перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений” : распоряжение Правительства РФ от 21.06.2010 № 1047-р; введ. 21.06.2010 // Информ. бюлл. “Нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве. — 2010. — № 4.
5. СНИП 31-01-2003. Здания жилые многоквартирные : постановление Госстроя России от 23.06.2003; начало действия 01.10.2003; конец — 20.05.2011. — М. : ГП ЦПП, 2004.
6. СП 54.13330.2011 (актуализированная ред. СНИП 31-01-2003). Здания жилые многоквартирные : приказ Минрегиона РФ от 24.12.2010 № 778; введ. 20.05.2011. — М. : ОАО “ЦПП”, 2011.
7. СП 56.13330.2011 (актуализированная ред. СНИП 31-03-2001). Производственные здания : приказ Минрегиона России от 30.12.2010 № 850; введ. 20.05.2011. — М. : Минрегион России, 2010.
8. СП 60.13330.2012 (актуализированная ред. СНИП 41-01-2003). Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : приказ Минрегиона России от 30.06.2012 № 279; введ. 01.01.2013. URL : <http://docs.cntd.ru/document/1200095527> (дата обращения: 03.05.2015).

9. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожаров на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям : приказ МЧС России от 24.04.2013 № 288 (ред. от 18.07.2013); введ. 24.06.2013. URL : <http://www.consultant.ru/document/cons doc LAW 150680> (дата обращения: 03.05.2015).
10. СП 113.13330.2012 (актуализированная ред. СНиП 21-02-99*). Стоянки автомобилей : приказ Минрегиона России от 29.12.2011 № 635/9; введ. 01.01.2013. URL : www.skonline.ru/doc/62884.html (дата обращения: 03.05.2015).
11. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ; принят Гос. Думой 15.12.2002; одоб. Сов. Федерации 18.12.2002 // Российская газета. — 2002. — № 245.
12. Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (с изм. на 12.03.2015) : Указ Президента Российской Федерации от 11.07.2004 № 868. URL : <http://base.garant.ru/187212> (дата обращения: 03.05.2015).
13. СП 118.13330.2012 (актуализированная ред. СНиП 31-06-2009). Общественные здания и сооружения : приказ Минрегиона РФ от 29.12.2011 № 635/10; введ. 01.01.2013. — М. : ФАУ ФЦС, 2012. — 77 с.
14. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с изм.: приказ МЧС РФ от 09.12.2010 № 639) : приказ МЧС РФ от 25.03.2009 № 171; введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
15. Об утверждении Методических рекомендаций по применению перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”, утвержденного Постановлением РФ от 26.12.2014 г. № 1521 : приказ Минстроя России от 27.02.2015 № 138/пр // Информационный бюллетень о нормативной, методической и типовой проектной документации. — 2015. — № 4.
16. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты (с изм. № 1) : приказ МЧС России от 21.11.2012 № 693; введ. 01.12.2012. URL : <http://docs.cntd.ru/document/1200096437> (дата обращения: 03.05.2015).
17. СП 42.13330.2011 (актуализированная ред. СНиП 2.07.01-89*). Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений : приказ Минрегиона РФ от 28.12.2010 № 820; введ. 20.05.2011. — М. : ОАО “ЦПП”, 2011.
18. О внесении изменений в Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” : Федер. закон РФ от 10.07.2012 № 117-ФЗ; принят Гос. Думой 20.06.2012; одоб. Сов. Федерации 27.06.2012; введ. 12.07.2012 // Российская газета. — 13.07.2012. — Федер. вып. № 5832.
19. Порядок разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства : приказ Минрегиона РФ от 01.04.2008 № 36; зарег. в Минюсте РФ 11.04.2008, рег. № 11517; введ. 01.04.2008 // Бюлл. строительной техники. — 2008. — № 6.
20. ГОСТ 1.1-2002. Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения. — Введ. 01.07.2003. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2003.
21. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : приказ МЧС России от 25.03.2009 № 175; введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
22. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений : постановление Минстроя России от 13.02.1997 № 18-7; введ. 01.01.1998. — М. : ГУП ЦПП, 1997; 1999; 2002.
23. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам обеспечения пожарной безопасности, подготовки населения в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций : законопроект № 763980-6; рассмотрен Советом ГД ФС РФ 23.04.2015, Протокол № 236. URL : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=PRJ;n=130383> (дата обращения: 03.05.2015).

Для цитирования: Тимошин В. С. Пожарная безопасность в строительстве. Реформы продолжаются, проблемы остаются // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 7. — С. 71–75. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.71-75.

For citation: Timoshin V. S. Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve. Reformy prodolzhayutsya, problemy ostayutsya [Fire safety in construction. Reforms continue, but problems still remain]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 7, pp. 71–75. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.07.71-75.

**ВОПРОС:**

В п. 12 ст. 82 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” (Федеральный закон от 23.06.2014 г. № 123-ФЗ) [1] указывается, что взрывозащищенное электрооборудование допускается использовать во взрывоопасных помещениях при условии соответствия категории и группы взрывоопасной смеси в помещении виду взрывозащиты электрооборудования. Иначе говоря, при выборе взрывозащищенного оборудования необходимо проводить проверку соответствия между видом взрывозащиты электрооборудования и категорией и группой взрывоопасной смеси.

Существует ли методика такой проверки, и как она реализуется на практике?

ОТВЕТ:

В п. 1 ст. 82 [1] говорится о том, что электроустановки должны соответствовать классу взрывоопасной зоны, в которой они установлены, а также категории и группе взрывоопасной смеси. Из данного пункта следует, что маркировка взрывозащищенного (Ex) оборудования должна соответствовать условиям технологического процесса и характеристикам взрывоопасной смеси, а именно: уровень взрывозащиты оборудования должен сопоставляться с классом взрывоопасной зоны, группа (подгруппа) оборудования — с категорией взрывоопасной смеси, а температурный класс оборудования — с группой взрывоопасной смеси.

Вид взрывозащиты выбирается и закладывается в конструкцию Ex-оборудования еще на стадии проектирования. Вид взрывозащиты оборудования определяется специальными мерами, предусмотренными в оборудовании с различными уровнями взрывозащиты с целью предотвращения воспламенения окружающей взрывоопасной среды. Выбор вида взрывозащиты влияет на дальнейшую оценку уровня взрывозащиты оборудования. В качестве примера можно показать, что согласно табл. 2 п. 5.4.2 ГОСТ IEC 60079-14-2013 [2] уровень взрывозащиты Gb обеспечивается одним из нескольких видов взрывозащиты (d, e, o, q и др.), а уровень Ga — двумя независимыми видами взрывозащиты, отвечающими уровню взрывозащиты Gb.

Уровень, в свою очередь, сопоставляется с классом взрывоопасной зоны (см. табл. 1, п. 5.3 [2]). Например, классу зоны 1 соответствует уровень взрывозащиты Gb, классу 2 — уровень Gc.

Следует отметить, что в ГОСТ 30852.13-2002 [3] виды взрывозащиты сопоставляются напрямую с классами взрывоопасных зон. Таким образом, выбор Ex-оборудования по ГОСТу [3] зависит от соответствия его вида взрывозащиты конкретному классу зоны, но никак не категории и группе взрывоопасной смеси. При этом

прямой взаимосвязи вида взрывозащиты с категорией и группой взрывоопасной смеси в стандартах нет.

В п. 12 ст. 82 [1] некорректно сформулировано требование по выбору Ex-оборудования для взрывоопасных помещений. Кроме того, в данном пункте дублируется фрагмент текста из п. 1 ст. 82 [1]: “категории и группе взрывоопасной смеси”, что является недопустимым.

Методика проверки и выбора Ex-оборудования для обеспечения безопасной работы во взрывоопасной среде прописана в п. 5 ГОСТов [2, 3].

Для выбора Ex-оборудования, соответствующего классу взрывоопасной зоны, необходима следующая информация:

- класс взрывоопасной зоны с учетом требований к уровню (виду по [3]) взрывозащиты оборудования;
- классификация газа, пара (категория взрывоопасной смеси по [3]) или пыли в зависимости от группы или подгруппы электрооборудования;
- температурный класс (группа взрывоопасной смеси по [3]) или температура самовоспламенения данного газа или пара;
- минимальная температура самовоспламенения облака горючей пыли, минимальная температура самовоспламенения слоя горючей пыли и минимальная энергия зажигания облака горючей пыли;
- предполагаемое применение оборудования;
- внешние источники и температура окружающей среды.

Рекомендуется также указывать требования к уровню взрывозащиты оборудования на чертеже классификации зон (см. табл. 1 и 2, п. 5 [2]).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 23.06.2014) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. ГОСТ IEC 60079-14-2013. Взрывоопасные среды. Часть 14. Проектирование, выбор и монтаж электроустановок. — Введ. 01.07.2015. — М. : Стандартинформ, 2015.
3. ГОСТ 30852.13-2002 (МЭК 60079-14:1996). Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 14. Электроустановки во взрывоопасных зонах (кроме подземных выработок). — Введ. 15.02.2014. — М. : Стандартинформ, 2014.

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

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность. 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 всеми авторами.

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

2.2. Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустимы транслитерации с русского языка, кроме непередаваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непередаваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой Госдепартамента США, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>).

Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес всех или хотя бы одного из авторов. При этом не следует приводить составные части названий организаций, обозначающие принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), что затрудняет идентификацию организации. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).

2.4. Аннотация на русском языке (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 (отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- “англоязычным” (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 150–200 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 следует описывать предельно точно и информативно. При этом приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в работе.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

Текст должен быть связным; излагаемые положения должны логично вытекать один из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

В авторское резюме не рекомендуется включать схемы, таблицы, иллюстрации, формулы, а также ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). Указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т. п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации.

2.7. Текст статьи. Текст должен быть набран через 1,5 интервала и предоставляться в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки.

Если представленные в статье исследования выполнены авторами при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда, Министерства образования и науки Российской Федерации и др., то в конце статьи обязательно следует дать информацию об этом с указанием номера и названия гранта (научного проекта, госконтракта и т.п.).

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо напечатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций не приемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения; однотипные таблицы следует строить одинаково. Цифровые данные необходимо округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться. Ссылки на все таблицы в тексте обязательны.

2.8. Пристатейные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).

Список литературы должен включать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок. Литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке упоминания. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

В описании источников необходимо указывать всех авторов. Список литературы должен содержать не менее 10 источников (не включая в это число нормативные документы, патенты и т. п.), в том числе не менее 3 иностранных. Выполнение данного требования будет свидетельствовать о том, что авторы используют предыдущие научные достижения в необходимой мере.

Не менее половины источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс научного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения публикациям цифрового идентификатора объекта (DOI) его необходимо указать, что позволит однозначно идентифицировать объект в базах данных.

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее 5 современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

В списке литературы не должно быть более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Следует обратить внимание на публикации диссертаций (особенно докторских), защищенных в последние годы по ближайшей научной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.disserscat.com>.

2.9. References (пристатейные списки литературы в транслитерации (на латинице) и на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо.

При переводе русскоязычного источника (книги, монографии, диссертации, электронного ресурса и пр.) приводится транслитерация фамилий и инициалов авторов, транслитерация названия источника и в квадратных скобках его перевод на английский язык, год, место издания, название издательства, количество страниц. Место издания должно быть указано на английском языке (Moscow, Saint Petersburg и т. п.). Транслитерированное название издания выделяется курсивом.

Если приводится русскоязычная статья в журнале, то, помимо транслитерации названия статьи и его перевода на английский язык, указанного в квадратных скобках, необходимо дать официальную английскую версию названия журнала (перевод обычно есть на сайте журнала). Если ее нет, то приводится обычная транслитерация. Указывается также год издания, том, номер выпуска, страницы статьи. Название издания выделяется курсивом.

Примеры описаний в References можно найти на сайте издательства (www.fire-smi.ru).

На сайте издательства Emerald даны достаточно подробные рекомендации по составлению пристатейных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard Reference System) практически для всех видов публикаций (<http://www.emerald-insight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>), а также программные средства для их формирования.

3. К статьям следует прилагать рецензию стороннего специалиста (т. е. он не должен быть связан с местом работы (учебы) авторов статьи), которая должна быть подписана рецензентом (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью. Все рецензенты должны являться признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и иметь в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Обращаем Ваше внимание, что рецензент не должен входить в Редакционный совет нашего журнала.

4. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

5. Не допускается направление в редакцию работ, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,
В. Н. Веревкин, В. А. Пехотилов, А. И. Рябиков

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

М.: ООО «Издательство «Пожнаука», 2012. – 222 с.



Приводятся новые, отвечающие современной нормативной базе, требования по классификации горючих смесей и пожаровзрывоопасных зон; рекомендации по выбору и использованию оборудования, включая кабельные изделия во взрывопожароопасных зонах.

Издание предназначено для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и монтажом электроустановок, работников пожарной охраны и специалистов широкого профиля в качестве учебного пособия для подготовки и повышения квалификации в области пожаровзрывобезопасности электроустановок.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Издательство “ПОЖНАУКА” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 2-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” (2-е полугодие 2015 г.)	5700		
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (годовая подписка)	10400		

Для соискателей ученой степени кандидата
и доктора наук действуют особые условия подписки!

**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 81913 (полугодовой), 70753 (годовой);
через агентство “АПР”,
индекс 83647 (полугодовой), 90121 (годовой)
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);

через подписные агентства:
ООО “Урал-Пресс”, ООО “Информнаука”,
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ строительных материалов;
- ♦ строительных конструкций;
- ♦ огнезащитных составов;
- ♦ кабельных изделий;
- ♦ пенообразователей;
- ♦ фасадных систем.

Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.

Контакты:

Тел.: (495) 662-69-70

e-mail: ikbs@mgsu.ru

www.ikbs-mgsu.ru