

8-2015

**ПОЖ** Издательство  
**НАУКА**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-**

# **БЕЗОПАСН** **СТЬ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

**КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



НОРМЫ И ПРАВИЛА  
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ  
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ПРИ ОБРАЩЕНИИ  
ПИРОТЕХНИЧЕСКОЙ  
ПРОДУКЦИИ



Системы видеонаблюдения



Охранно-пожарные системы



Системы контроля доступа



Шлагбаумы и автоматика ворот



Кабели и проводники



Вспомогательное оборудование

РЕКЛАМА

ПОКУПАЙ ДЕШЕВЛЕ

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ВОГМАН Л. П., ЗУЙКОВ В. А.  
Нормы и правила по обеспечению пожарной безопасности при обращении пиротехнической продукции. Часть I. Общие представления о пиротехнической продукции, методах контроля и классификации

7

## GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

VOGMAN L. P., ZUYKOV V. A.  
Rules and regulations to ensure fire safety when handling pyrotechnics. Part I. General information about pyrotechnic products, methods of control and classification

## ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

СТРИЖАК П. А., ПИСКУНОВ М. В., ЩЕРБИНИНА А. А.  
Об условиях "взрывного" разрушения неоднородной капли жидкости при кипении и интенсивном испарении в высокотемпературной газовой среде

18

## COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

STRIZHAK P. A., PISKUNOV M. V., SHCHERBININA A. A.  
About conditions of "explosive" destruction of heterogeneous liquid droplet at boiling and intensive evaporation in high-temperature gaseous medium

## ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

СМИРНОВ В. В., АЛЕКСЕЕВ С. Г., БАРБИН Н. М., СПИРИДОНОВ М. А., ДАЛЬКОВ М. П., МОКРОУСОВА О. А., АКУЛОВ А. Ю.  
Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XX. Хлоралканы (часть 2)  
ГРИГОРЬЕВА М. П., ЕРЕМИНА Т. Ю., КОНСТАНТИНОВА Н. И.  
К вопросу об оценке дымообразующей способности напольных покрытий

27

34

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

SMIRNOV V. V., ALEXEEV S. G., BARBIN N. M., SPIRIDONOV M. A., DALKOV M. P., MOKROUSOVA O. A., AKULOV A. Yu.  
Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XX. Chloroalkanes (Part 2)  
GRIGORYEVA M. P., EREMINA T. Yu., KONSTANTINOVA N. I.  
On the issue of assessment of floor coverings smoke-forming ability

## ОГНЕЗАЩИТА

СТАРОДУБЦЕВ А. В., БАЛАКИН В. М., ПОЛИЩУК Е. Ю.  
Огнезащитные составы для древесины на основе продуктов деструкции сложных алифатических полиэфиров моноэтаноламином

43

## FIRE RETARDANCE

STARODUBTSEV A. V., BALAKIN V. M., POLISHCHUK E. Yu.  
Flame retardants for wood-based products of destruction of complex aliphatic polyethers ethanolamines

## ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

НАЗАРОВ В. П., БОРОДИН А. А., КОРНИЛОВ А. А., АКУЛОВ А. Ю., СПИРИДОНОВ М. А., ДАЛЬКОВ М. П.  
Сравнение результатов лабораторных и численных экспериментов при исследовании процесса флегматизации горизонтальных стальных резервуаров для нефтепродуктов

49

## FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

NAZAROV V. P., BORODIN A. A., KORNILOV A. A., AKULOV A. Yu., SPIRIDONOV M. A., DALKOV M. P.  
Comparison of results of laboratory and numerical experiments in study of the phlegmatizing of horizontal tanks for oil

## ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

КОМАРОВ А. А., КАЗЕННОВ В. В., ГУСЕВ А. А., ГРОМОВ Н. В.  
Критерий квазистатичности взрывного давления газопаровоздушных смесей в помещениях

56

## FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

KOMAROV A. A., KAZENNOV V. V., GUSEV A. A., GROMOV N. V.  
Criterion for quasi-static conditions for confined blast pressure of a gas-air mixture in premises

## СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

КАЙБИЧЕВ И. А., КАЙБИЧЕВА Е. И., РЫБАКОВ Ю. С.  
Индекс риска пожара в Российской Федерации в 2010–2014 годах

63

## STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

KAIBICHEV I. A., KAIBICHEVA E. I., RYBAKOV Yu. S.  
Fire risk index in Russian Federation in 2010–2014 years

## СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ШАРОВАРНИКОВ А. Ф., ДЕГАЕВ Е. Н.  
Классификация пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов по структуре коэффициента растекания рабочего раствора по углеводороду

75

## MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

KOROLCHENKO D. A., SHAROVARNIKOV A. F., DEGAEV E. N.  
Classification of foaming agents for extinguishing of fires of oil products taking into account the structure of spreading coefficient of working solution over hydrocarbon

## ВОПРОС – ОТВЕТ

81

## QUESTION – ANSWER

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

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

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

Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" только по согласованию с редакцией. При цитировании ссылка обязательна.

Авторы и рекламодатели несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати.

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов опубликованных материалов.



Пожарная безопасность пиротехнической продукции

**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.

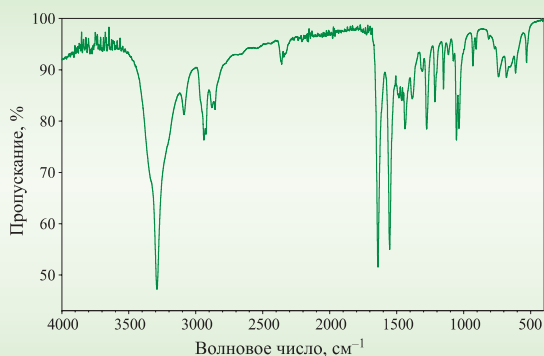
Подписано в печать 14.08.2015. Выход в свет 24.08.2015.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "КОДА"

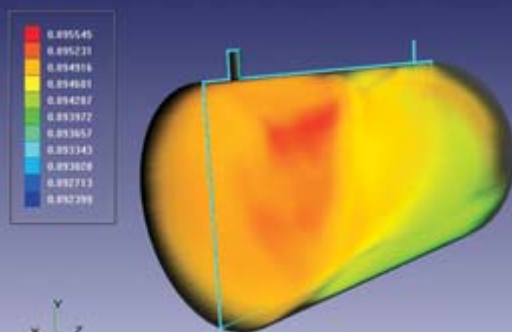
(105082, Россия, г. Москва, Спартаковский пер., д. 2, стр. 1).



Стр. 7

Стр. 43

Огнезащитные составы для древесины



Флегматизация резервуаров для нефтепродуктов



Стр. 49

Стр. 56

Критерий квазистатичности давления взрыва

Стр. 75



Классификация пенообразователей для тушения нефти

**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

“Pozharovzryvobezопасnost” (“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 14.08.2015

Date of publication 24.08.2015

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)

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:

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

Соорганизаторы:

 **БИЗ-ОН** ОБЪЕДИНЕНИЕ  
ВЫСТАВОЧНЫХ  
КОМПАНИЙ

Медиапартнеры:

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

 **SOVA**  
охранное предприятие

Генеральный  
интернет партнер:  
 **SecAndSafe.ru**  
Системы безопасности

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

Генеральный  
партнер проекта:  
 **RUBEZH**  
Информационно-аналитический журнал

 **01.RU**  **TexСовет**

**ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»  
ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ**

**Учебное пособие**

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

# **Обеспечение пожарной безопасности электроустановок**



Рецензенты: Федеральное государственное учреждение Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, кафедры физики и пожарной безопасности технологических процессов Академии ГПС МЧС России.

В учебном пособии рассмотрены общая схема электроснабжения потребителей, классификация электроустановок и причины пожаров от них, а также вероятностная оценка пожароопасных отказов в электротехнических изделиях и пожарная безопасность комплектующих элементов. Приведены нормативные обоснования и инженерные решения по обеспечению пожарной безопасности электроустановок и защите зданий и сооружений от молний и статического электричества. Учебное пособие предназначено для практических работников в области систем безопасности и может быть использовано для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.



**Web-сайт: [firepress.ru](http://firepress.ru)  
Эл. почта: [mail@firepress.ru](mailto:mail@firepress.ru)  
Тел.: (495) 228-09-03**

**Л. П. ВОГМАН**, д-р техн. наук, главный научный сотрудник  
ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143900, Московская обл.,  
г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: vniipo-3-5-3@ya.ru)

**В. А. ЗУЙКОВ**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник  
ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143900, Московская обл.,  
г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

УДК 662.11

## НОРМЫ И ПРАВИЛА ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ ПИРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

### Часть I. Общие представления о пиротехнической продукции, методах контроля и классификации

Изложены общие сведения о пиротехнических составах, фейерверочных пиротехнических изделиях (ФПИ) и об их свойствах; представлена классификация ФПИ. Выполнен анализ факторов, влияющих на скорость горения пиротехнических составов (природа состава, материал корпусной детали, оболочки, теплопроводность и теплоемкость состава, температура, давление, образование промежуточных продуктов горения). Кратко изложены методы оценки пожарной опасности ФПИ. Представлен перечень пиротехнической продукции бытового и технического назначения. Приведены классификационные признаки пиротехнической продукции I–IV классов.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность; пиротехническое изделие (продукция); методы; классификация; показатели пожарной опасности.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.08.7-17

#### Введение

Со времен Петра I (XVIII в.) на Руси в праздничные и торжественные дни устраивали фейерверки, завораживающее действие которых на людей можно сравнить лишь с впечатлениями от красивой сказки. В советское время по особо значимым праздникам устраивали салюты, для запуска которых привлекались специальные салютные подразделения.

Современный отечественный рынок гражданской пиротехники сформировался в 90-е годы прошлого века. Кроме привычных бенгальских огней и хлопушек, в розничной продаже появились петарды, ракеты, фонтаны, салюты. На рынок хлынул поток импортной пиротехнической продукции, которая зачастую была весьма низкого качества и, как следствие, пожаровзрывоопасная.

К сожалению, недостаточное внимание к вопросам обеспечения безопасности в процессе обращения (производства, хранения, транспортирования, реализации, применения и утилизации) фейерверочных пиротехнических изделий (ПИ), несоблюдение необходимых мер пожарной безопасности нередко приводит к многочисленным пожарам и взрывам, травматизму и гибели людей, в том числе детей.

Пожары и взрывы на производствах и складах ПИ зачастую носят катастрофический характер и явля-

ются следствием нарушений правил безопасного производства, хранения и применения изделий, а также игнорирования требований пожарной безопасности [1–4]. Характерными примерами таких инцидентов могут служить, например, взрыв в 1992 г. в Голландии; взрыв на складе одной из фирм, в результате которого в радиусе 1,5 км были разрушены крыши домов, а ущерб составил 50 млн. долл.; взрыв склада при магазине в Рио-де-Жанейро в 1997 г.; взрыв на фабрике по производству ПИ в КНР в том же году. В 2000 г. с интервалом в один день произошли разрушительные взрывы на складах и производствах ПИ в Голландии, Испании и Италии, которые сопровождались многочисленными жертвами и высоким травматизмом.

В нашей стране согласно статистическим данным [2] в период 1995–1998 гг. от взрывных и зажигательных составов ежегодно происходило около 1000 пожаров, на которых погибало от 20 до 26 чел. и были травмированы от 164 до 204 чел.

Катастрофическими стали последствия несанкционированного применения ПИ в ночном клубе “Хромая лошадь” (г. Пермь) в декабре 2009 г. При демонстрации фейерверочных эффектов произошло загорание перекрытия, и пожар быстро распространился по горючим материалам. Многие посе-



тители, число которых в 5–6 раз превышало установленные нормами, в условиях плохой организации эвакуации и из-за очевидных нарушений размеров проходов и дверных проемов на путях выхода наружу получили ожоги и отравления, несовместимые с жизнью (погибли 165 чел., и еще больше посетителей получили травмы).

В апреле 2015 г. в результате несанкционированной деятельности одного из частных предприятий в г. Орле в процессе сборки ПИ произошел взрыв разрушительной силы, в результате которого погибли 2 чел., разрушено большое количество зданий и сооружений в центре города.

В канун каждого Нового года и в начале наступившего года, а также в другие праздничные дни средства массовой информации публикуют заметки и статьи о многочисленных загораниях, пожарах и случаях гибели и травматизма (в том числе среди детей), вызванных нарушениями правил пожарной безопасности при обращении ПИ.

Статистические данные, представленные в [4] и в настоящей статье, свидетельствуют о том, что риски поражения и гибели людей при обращении пиротехнических изделий еще весьма высоки. Главная причина такого положения заключается в том, что принятые нормативные требования зачастую не выполняются или попросту игнорируются потребителем, поскольку отсутствует надлежащий контроль за исполнением этих требований.

В последние годы у нас в стране появился ряд документов, которые должны переломить ситуацию и привести к снижению числа пожаров и их последствий в стране, а именно:

- 1) Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [5];
- 2) Технический регламент о безопасности пиротехнических составов и содержащих их изделий: утв. постановлением Правительства РФ от 24.12.2009 г. № 1082 (далее — постановление № 1082 [6]);
- 3) Требования пожарной безопасности при распространении и использовании пиротехнических изделий: утв. постановлением Правительства РФ от 22.12.2009 г. № 1052 [7];
- 4) ГОСТ Р 51270–99. Изделия пиротехнические. Общие требования безопасности [8];
- 5) ГОСТ Р 51271–99. Изделия пиротехнические. Методы испытаний [9];
- 6) Правила противопожарного режима в Российской Федерации: утв. постановлением Правительства РФ от 25.04.2012 г. № 390 [10];
- 7) ГОСТ 19433–88. Грузы опасные. Классификация и маркировка [11].

В связи с этим нельзя не отметить, что принятие этих документов повлияло на состояние дел с пожа-

рами в стране. Например, в период с 31.12.2009 г. по 11.01.2010 г. количество пожаров на территории Российской Федерации по сравнению с предыдущим периодом праздничных дней снизилось на 11,9 %, а число погибших сократилось на 12,4 %.

Требования пожарной безопасности к пиротехническим изделиям, помимо названных выше, содержатся также в ряде других документов [12–14] и литературе [15–19], а также в зарубежной нормативной документации [20–22].

Цель работы заключается в ознакомлении специалистов с пожаровзрывоопасными свойствами фейерверочной продукции различного назначения, а также с требованиями обеспечения пожарной безопасности, предъявляемыми к ней в процессе обращения.

### 1. Общие сведения о пиротехнических составах, изделиях и их свойствах

Пиротехника — наука, которая изучает пиротехнические составы, содержащие их изделия и в переводе с греческого означает “искусство огня” (*пиро* — огонь, *техно* — искусство).

Основными составными частями ПИ являются:

- корпусные детали, выполненные из картона, бумаги, пластмасс, металла;
- пиротехнические составы и пироэлементы (звездочки, факелы, таблетки) на основе дымных, бездымных порохов, окислителей, горючих и добавок;
- средства инициирования — огнепроводный шнур, электровоспламенитель, запал-спичка.

К пиротехническим изделиям предъявляются следующие требования:

- обеспечение заданного пиротехнического эффекта (осветительный, дымовой, звуковой и т. д.);
- безопасность при обращении с ними и при их хранении;
- сохраняемость пиротехнического эффекта при длительном хранении изделия (в течение нескольких лет);
- простота и безопасность изготовления;
- минимальное взрывное действие.

Пиротехнические составы являются взрывопожароопасными и представляют собой механическую смесь компонентов, включающую горючее, окислитель и другие вещества, сообщающие составам дополнительные специальные свойства: окрашивание пламени, образование цветного дыма, снижение чувствительности состава (флегматизаторы), увеличение механической прочности (связующие) и др. Продукты сгорания пиротехнических составов могут оказывать вредное воздействие на людей и окружающую среду. Внешние воздействующие импульсы (удар, трение, нагрев, электромагнитное излучение, детонация) могут вызвать срабатывание

изделий, если уровень этого воздействия выше допустимого.

В зависимости от назначения и конструктивных особенностей действие ПИ сопровождается проявлением одного или нескольких опасных факторов пожара (ОФП), таких как:

- пламя, искры или высокотемпературная струя продуктов сгорания;
- наличие пожароопасных элементов конструкции изделия (горящие таблетки, раскаленные шашки и др.);
- тепловое излучение;
- разброс элементов изделия за счет начальной скорости или под действием реактивной силы;
- продукты сгорания или диспергирования в аэрозольном состоянии.

К пиротехническим составам предъявляют следующие требования:

- проявление заданного пиротехнического эффекта;
- минимальная чувствительность к механическим воздействиям и безопасность при изготовлении и применении;
- достаточная физико-химическая стойкость при длительном хранении;
- устойчивость к внешним тепловым воздействиям (невоспламеняемость от попадания искры и т. п.);
- простота технологии изготовления;
- доступность исходных материалов и наличие сырьевой базы.

В качестве окислителей пиротехнических составов применяют нитраты, хлораты, перхлораты, оксиды и пероксиды металлов, а также некоторые хлорпроизводные.

В качестве горючих компонентов пиротехнических составов используют как органические, так и неорганические вещества и материалы. К неорганическим горючим можно отнести такие металлы, как алюминий, магний и их сплавы. Температура горения этих металлов и их сплавов выше температуры горения других органических и неорганических горючих. Магний обладает большой реакционной способностью, легче воспламеняется и имеет более высокую скорость горения по сравнению с алюминием.

К органическим горючим относятся углеводороды (бензин, керосин, нефть, мазут, бензол, скипидар), углеводы (крахмал, сахар, древесные опилки и др.), смолы (бакелит, идитол), олифа. Роль горючих веществ и материалов часто играют некоторые дымообразователи, например нафталин и пр. Горючий компонент выбирают с учетом задачи получения наибольшего специального эффекта, требуемого от данного пиротехнического состава. Например, в осветительных составах наилучший специальный

эффект достигается при высокой температуре горения, поэтому в них применяют горючее с высокой теплотворной способностью. В дымовых составах, наоборот, высокая температура не требуется и даже нежелательна, поэтому в такие составы вводят горючий компонент с низкой теплотой сгорания (древесный уголь, углеводы) и не используют (а если используют, то в малых количествах) алюминий или магний.

Для уплотнения пиротехнических составов, повышения их прочности или замедления горения вводят связующие, например искусственные и естественные смолы (идитол, бакелит, поливинилхлорид, каучук, канифоль, шеллак), стеарин, парафин и другие органические вещества.

Для окрашивания пламени или дыма применяют соли металлов: стронция (в красный цвет), меди (синий), бария (зеленый), натрия (желтый), а также органические красители.

К флегматизаторам, снижающим чувствительность пиротехнического состава к механическим воздействиям и уменьшающим скорость горения, следует отнести смолы, парафин и масла.

Основной формой химического превращения пиротехнических составов является горение. Они легко воспламеняются от теплового импульса (например, луча огня) и в прессованном виде сгорают со скоростью 1–10 мм/с (скорость превращения отдельных составов, например осветительных или зажигательных, составляет от десятков до тысяч метров в секунду). При горении некоторых пиротехнических составов выделяется значительное количество тепла (например, при сгорании магния до оксида магния — 25104 кДж/кг), развивается высокая температура (до 2000–3000 °С). У дымовых составов или составов, сгорающих за счет кислорода воздуха, температура горения ниже — 700–1000 °С.

Горение пиротехнических составов сопровождается образованием газообразных и конденсированных продуктов. Яркость пламени обуславливается присутствием в нем твердых частиц. Энергия, освобождающаяся в результате химической реакции, используется не для производства механической работы (как у порохов и взрывчатых веществ), а для получения определенного пиротехнического эффекта (света, дыма, звука, тепла и пр.).

Процесс горения пиротехнических составов можно разделить на две стадии.

*Первая стадия* — распространение процесса по поверхности состава. После сообщения составу теплового импульса извне вначале происходит, с одной стороны, эндотермический распад окислителя, а с другой — эндотермическое испарение или разложение горючего. Эти два процесса идут одновременно и взаимно обуславливают друг друга.

После термического распада компонентов наступает экзотермическая реакция между окислителем и горючим, которая затем протекает сама по себе за счет теплоты, выделяющейся при горении состава.

Скорость распространения процесса термического распада по поверхности определяется природой состава, степенью измельчения его компонентов, формой поверхности, плотностью и внешним давлением.

*Вторая стадия* — распространение процесса в глубину состава за счет теплопроводности, диффузии газов и лучистой энергии. При горении составов одновременно протекают физические и химические процессы как в конденсированной, так и в газовой фазе. Скорость горения определяется такими факторами, как природа состава, плотность прессования, природа оболочки, начальная температура и давление, химическая природа добавок.

Рассмотрим подробнее влияние различных факторов на скорость горения пиротехнических составов.

При анализе влияния *природы состава* следует учитывать теплоту и температуру его горения, скорость разложения окислителя, термическую стойкость горючего, теплопроводность и теплоемкость состава.

Между теплотой горения и скоростью горения существует корреляция, но лишь для однотипных пиротехнических составов. В подобных системах с увеличением количества металлического горючего и, следовательно, усилением теплового эффекта скорость горения повышается, но до установленного предела, достигнув который она начинает падать. Вообще говоря, между теплотой горения и скоростью горения нет определенной зависимости. Известны составы с меньшей теплотой сгорания, которые имеют большую скорость горения.

Чем выше активность окислителя и металлического горючего, тем больше скорость распространения пламени. Например, составы на основе нитрата натрия горят быстрее, чем на основе нитрата бария. Порошковые смеси, содержащие окислитель (хлорат, перхлорат, нитрат и др.) и металлическое горючее (магний, алюминий), при поджигании быстро сгорают в виде вспышки, в то время как смеси хлоратов с углем или смолами, солями нитратов и смол сгорают весьма медленно, а в прессованном виде их трудно даже зажечь.

С увеличением *степени дисперсности* компонентов скорость горения повышается, что особенно заметно у составов на основе металлических горючих. Например, составы с алюминиевой пудрой горят значительно быстрее, чем порошковые. Чем легче окисляется металл, тем слабее влияние степени его измельчения на скорость горения.

С повышением *плотности* состава скорость горения снижается. Это объясняется тем, что при повышении плотности состава уменьшается его пористость, а значит, затрудняется доступ газообразных продуктов реакции в глубь состава.

На скорость горения состава оказывает влияние и *материал корпусной детали (оболочки)*. Например, спрессованные составы в оболочке из картона или пластмассы горят медленнее, чем в металлической, так как в последнем случае происходит интенсификация подогрева последующих слоев составов раскаленной оболочкой. В оболочке из картона или пластмассы фронт горения плоский, тогда как в металлической оболочке он имеет выпуклую форму, вытянутую к центру (в виде конуса с вершиной у центра). Диаметр пиротехнического изделия в картонной оболочке в пределах 10–90 мм практически не оказывает влияния на скорость горения.

С уменьшением *теплопроводности* состава скорость горения снижается. Этим можно объяснить медленное горение составов, содержащих смолы с теплоизолирующими свойствами. Следует также иметь в виду, что диффузия газов при наличии таких легкоплавких веществ, как смолы, парафины и им подобные, становится затруднительной, что также приводит к снижению скорости горения.

*Теплоемкость* состава оказывает обратное влияние: с ее уменьшением скорость горения увеличивается.

С повышением *температуры* изделия скорость горения растет. Для одних и тех же составов скорость горения при 100 °С увеличивается в 1,2 раза по сравнению со скоростью горения при 0 °С.

С повышением *внешнего давления* скорость горения растет, а при достаточно высоких давлениях может перейти даже в детонацию. Увеличение скорости горения с повышением давления объясняется тем, что тепловой эффект и температура реакции при этом становятся выше за счет сокращения зоны реакции. В разреженном пространстве (~10 кПа) пиротехнические составы горят в 2–3 раза медленнее, чем при атмосферном давлении (101 кПа). При этом чем больше газовыделение в процессе горения состава, тем в большей степени скорость горения зависит от давления. Уменьшение скорости горения с понижением температуры можно объяснить значительным объемом продуктов сгорания и менее плотным соприкосновением их с фронтом пожара, вследствие чего прогрев последующих слоев состава и диффузия газообразных продуктов внутрь состава становятся затруднительными.

*Добавки* к пиротехническим составам могут выступать в качестве как катализаторов горения, так и флегматизаторов, снижающих скорость горения. Например, добавка соли  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  увеличивает ско-

рость горения пиротехнических составов, а органические вещества (смола, масло) — снижают.

На скорость горения пиротехнических составов оказывают влияние *промежуточные продукты реакции*. Например, смесь нитрата калия и идитола сгорает в 4 раза быстрее, чем смесь перхлората калия и идитола, несмотря на то что тепловой эффект горения смеси нитрата калия и идитола в 3 раза меньше, чем смеси перхлората калия с идитолом. Большую скорость горения смеси нитрата калия с идитолом можно объяснить тем, что скорость разложения калиевой селитры выше, чем у перхлората, а образующийся в реакциях горения оксид калия играет роль катализатора реакции.

Пиротехнические составы чувствительны к тепловым и механическим (удар, трение) импульсам, и в зависимости от формы начального импульса при превышении его допустимого уровня характер превращения может быть различным. При воспламенении от луча огня, искры или нагрева составы сгорают с небольшой скоростью (несколько миллиметров в секунду), а от удара, трения, энергии, выделяемой при сгорании зарядов взрывчатых веществ (ВВ), скорость превращения может быть существенно выше (вплоть до детонации).

Чувствительность составов к тепловому импульсу характеризуется температурой вспышки, которая определяется так же, как для ВВ [17–19]. Наиболее чувствительными к тепловому импульсу оказываются составы на основе хлоратов, менее чувствительными — на основе нитратов и металлов. Так, температура вспышки составов на хлоратах достигает 250–300 °С, на основе нитратов — 450–500 °С, на основе металлов (термитно-зажигательные) — свыше 500 °С.

Чувствительность составов к удару определяется сбрасыванием изделий или упаковок (тары) с высоты. Некоторые пиротехнические составы по этому показателю превосходят ВВ (тротил, пикриновую кислоту).

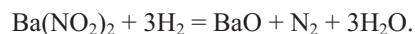
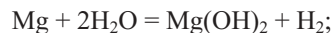
Ряд пиротехнических составов обладают высокой чувствительностью к трению, например составы на основе хлоратов, причем более высокой, чем у ВВ.

Таким образом, по своей природе пиротехнические составы являются взрывчатыми системами, однако взрывчатые свойства у них выражены слабее, чем у ВВ.

В процессе хранения даже в обычных условиях в пиротехнических составах происходят физические и химические изменения. Небольшое повышение температуры (до 50 °С) существенного влияния на стойкость ПИ не оказывает. В то же время повышение относительной влажности ускоряет процесс

их деструкции, особенно тех составов, которые содержат в качестве горючих компонентов металлы.

Например, один из компонентов пиротехнического состава — магний при взаимодействии с влагой выделяет водород, который, в свою очередь, восстанавливает окислитель:



Эти процессы протекают с выделением тепла, вследствие чего процесс разложения может привести к самовоспламенению состава.

Методы определения пожаровзрывоопасных характеристик ПИ представлены в ГОСТ Р 51271–99 (с изм.) [9]. Ниже приведено краткое описание этих методов.

*Метод оценки пожарной опасности ПИ, предназначенных для ручного применения и не имеющих опасных факторов, кроме пламени и разлетающихся искр*, заключается в органолептической регистрации загорания индикаторного вещества (ваты) в ячейках, размещенных на координатной площади.

Из всех испытаний выбирают максимальное расстояние до кюветы, следующей за той, в которой произошло загорание, и определяют его как радиус опасной зоны. Пожаробезопасной считают область пространства за пределами опасной зоны.

*Метод оценки пожарной опасности изделий, упаковки (тары) с изделиями, применяемыми при устройстве показов*, заключается в установлении последствий загорания упаковки (тары) с размещенными в ней изделиями под действием открытого пламени (так называемая костровая проба).

Определяют давление в воздушной ударной волне или констатируют отсутствие ударной волны.

Если в процессе испытаний произошло срабатывание ПИ со взрывом (разброс костра, разлет осколков, образование ударной волны), то ПИ признается пожаровзрывоопасным и при необходимости подлежит испытаниям на более высокий класс опасности (например, IV).

Если при испытаниях ПИ сгорело без образования осколков и ударной волны, то изделие считается невзрывоопасным.

Если происходит взрыв массой, то изделие относится к подклассу 1.1 по ГОСТ 19433–88 [11]. Считается, что взрыв массой происходит при воспламенении значительной части изделия (изделий в упаковке), так что практическая опасность оценивается исходя из одновременного взрыва всей массы ПИ, содержащихся в упаковке, или всех неупакованных изделий.

Если пробито отверстие в каком-либо из контрольных экранов, то изделие относится к подклассу 1.2 по ГОСТ 19433–88 [11].

Если происходит образование “огненного шара” или струи пламени, выходящих за пределы любого из контрольных экранов, то изделие относится к подклассу 1.3 по ГОСТ 19433–88 [11].

Если происходит образование и разбрасывание металлических осколков за пределы контрольных экранов более чем на 1 м или появляются зазубрины более 4 мм в любом из контрольных экранов, то изделие относится к подклассу 1.4 и к какой-либо группе совместимости, кроме группы S.

Если не происходит одно из событий, требующих отнесения изделия к подклассам 1.1, 1.2, 1.3 или 1.4 (кроме группы совместимости S), но при этом наблюдается разбрасывание осколков, термический или взрывной эффект и эти явления не затрудняют борьбу с пожарами или принятие других срочных мер в непосредственной близости от упаковки (изделия), то изделие относится к подклассу 1.4 и группе совместимости S.

*Метод испытания легковоспламеняющихся твердых веществ* заключается в способности пиротехнического состава распространять горение в кювете длиной 250 мм, шириной 20 мм и высотой 10 мм.

Вещество (состав) в виде порошка, гранул или пасты относится к подклассу 4.1, если время горения в принятых методикой условиях составляет не менее 45 с или если скорость распространения горения в кювете превышает 2,2 мм/с. Порошки металлов или металлических сплавов относятся к подклассу 4.1, если происходит их воспламенение и горение распространяется на всю длину кюветы за 10 мин и менее.

Твердые вещества (за исключением металлических порошков) относятся к подклассу 4.1, если время горения составляет менее 45 с и пламя проходит через увлажненную зону. Порошки металлов или металлических сплавов относятся к подклассу 4.1, если горение распространяется на всю длину кюветы за 5 мин и менее.

Твердые вещества (за исключением металлических порошков) относятся к подклассу 4.1, если время горения в кювете составляет менее 45 с и увлажненная зона сдерживает распространение пламени, по меньшей мере, в течение 4 мин. Металлические порошки относятся к подклассу 4.1, если горение распространяется на всю длину кюветы более чем за 5 мин, но менее чем за 10 мин.

*Метод проверки эффективности огнезащитной обработки упаковки (тары) с ПИ бытового назначения I–III классов опасности* заключается в определении огнестойкости упаковки (тары) с ПИ бытового назначения при воздействии на нее пламени газовой горелки по ГОСТ Р 50810–95 [23] в течение 3 с.

Упаковка (тара) является огнестойкой, если образцы упаковки (тары) в процессе испытания не получают сквозного прогара.

Методы определения характеристик пожарной опасности ПИ бытового назначения I–III классов опасности представлены в ГОСТ Р 51271–99 [9].

## 2. Классификация пиротехнических изделий

Пиротехнические изделия делятся на пожароопасные и (или) пожаровзрывоопасные. Продукты их сгорания могут оказывать вредное воздействие на людей и окружающую среду. Внешние воздействующие импульсы (удар, трение, электромагнитное излучение, детонация) способны вызывать срабатывание изделий, если их уровень выше допустимого.

Пиротехническая продукция подлежит обязательному подтверждению соответствия требованиям Технического регламента о безопасности пиротехнических составов и содержащих их изделий [6] в форме декларирования или обязательной сертификации. В сертификате соответствия (декларации о соответствии) указывается класс опасности.

В зависимости от назначения и конструктивных особенностей действие ПИ сопровождается проявлением одного или нескольких опасных факторов пожара (взрыва), таких как:

- пламя или высокотемпературная струя продуктов сгорания;
- разбрасываемые элементы конструкции (горящие таблетки, раскаленные элементы, искры);
- тепловое излучение;
- разлетающееся изделие и его элементы за счет начальной скорости выброса и (или) под действием реактивной силы;
- наличие продуктов сгорания или диспергирования в аэрозольном состоянии.

ПИ по своим отличительным признакам классифицируются следующим образом:

- по *наблюдаемому эффекту*: световые, искровые, дымные, звуковые, со смешанным эффектом;
- по *принципу действия*: стационарные, горящие с испусканием искр и пламени; вышибного действия, выбрасывающие из корпусных деталей негорящие (например, серпантин) или горящие элементы; метательного действия, выбрасывающие горящие элементы (например, ракеты), которые имеют направленное или хаотическое движение;
- по *расположению пиротехнического состава*: открытого типа без корпусной детали, с корпусной деталью; с частично открытым пиротехническим составом (шутихи, петарды);
- по *радиусу действия* (радиусу опасной зоны): малого (до 0,5 м), среднего (до 5 м), умеренного (до 30 м), большого (свыше 30 м) радиуса;

- по назначению: бытовые, технические, специальные;
- по длительности действия: быстрого (не более 5 с), среднего (от 5 до 60 с), продолжительного (более 60 с) действия.

По способу приведения в действие пиротехническая продукция делится на изделия:

- ручного запуска для имитации выстрелов, хлопков (хлопушки, петарды), фонтанов искр (бенгальские свечи, настольные фонтаны) малого (0,5 м) и среднего (5 м) радиуса действия;
- наземного действия для монтажа фейерверочных фигур, имитации выстрелов, хлопков, пусков ракет и крылатых фигур большого (до 30 м) радиуса действия;
- наземного действия для имитации пушечных выстрелов, разрывов снарядов или других звуковых эффектов (взрывпакеты);

- для выброса горящих элементов конструкции ПИ в воздух с земли из мортир, пусковых устройств, ракетниц (пиротехнические бураки, кометы, римские свечи, сигнальные и осветительные ракеты и патроны);
- выстреливаемые с земли из пусковых мортир и разрывающиеся в воздухе с выбросом горящих элементов (салюты, фейерверочные бомбы);
- типа фейерверочных ракет с радиусом действия свыше 30 м.

Перечень пиротехнической продукции представлен в табл. 1.

По степени потенциальной взрывоопасности и санитарной опасности все ПИ при эксплуатации подразделяются на следующие классы:

1. ПИ, у которых значение кинетической энергии движения составляет не более 0,5 Дж, отсутствует ударная волна и разлетающиеся за

Таблица 1. Перечень пиротехнической продукции

Пиротехническая продукция		В том числе
Бытового назначения	ПИ развлекательные	I–III классов
	Средства (изделия) фейерверочные	Высотные; парковые; испытательные; театральные (специальные); имитационные, используемые при производстве кино- и видеопродукции
	Средства дымовые	
	Средства имитационные	Учебно-имитационные; для проведения групповых игр; для развития технического творчества; для обогрева и разогрева (горелки); для дезинфекции и борьбы с насекомыми
	Составы самостоятельного применения	Пламенные, беспламенные, дымовые
Технического назначения	Средства воздействия на природу	Активного воздействия на атмосферные явления; противораковые ракеты
	Заряды и воспламенители пиротехнические твердотопливные	Заряды пиротехнические для двигателей, применяемых в промышленности
	Составы самостоятельного применения	Пламенные, беспламенные, дымовые
	Средства дымовые	
	Средства пировавтоматики, помех и преодоления преград	Источники тока и датчики; замедлители, пироболты, резак и другие исполнительные устройства; патроны для вытеснения жидкости и распыла порошков; средства создания помех, преодоления преград
	Средства для производственных нужд	Газогенерирующие; воздействующие на добывающие скважины; средства для сварки, резки, наплавки; для уничтожения (утилизации) различных материалов
	Средства для пожаротушения; средства доставки (линеметы)	
	Приборы и аппаратура пиротехнические для систем автоматического пожаротушения и пожарной сигнализации	
	Средства термитные, шнуры огнепроводные и стопиновые	Спички пиротехнические
	Средства осветительные и фотоосветительные	
Средства сигнальные	Общего назначения, охранные, сигнальные средства и сигналы бедствия морского и речного регистров и для маломерных судов	

пределы опасной зоны осколки, акустическое излучение на расстоянии 0,25 м от ПИ не превышает 125 дБ и радиус опасной зоны по остальным опасным факторам (в том числе пожара и взрыва) составляет не более 0,5 м;

- II. ПИ, у которых значение кинетической энергии составляет не более 5 Дж, отсутствует ударная волна и разлетающиеся за пределы опасной зоны осколки, акустическое излучение на расстоянии 2,5 м от ПИ не превышает 140 дБ и радиус опасной зоны по остальным опасным факторам (в том числе пожара и взрыва) составляет не более 5 м;
- III. ПИ, у которых значение кинетической энергии при направленном движении составляет не более 5 Дж, при ненаправленном движении — не более 20 Дж, отсутствует ударная волна и разлетающиеся за пределы опасной зоны осколки, акустическое излучение на расстоянии 5 м от ПИ не превышает 140 дБ и радиус опасной зоны по остальным опасным факторам (в том числе пожара и взрыва) составляет не более 30 м;
- IV. ПИ, у которых отсутствует ударная волна и радиус опасной зоны хотя бы по одному из опасных факторов (в том числе пожара и взрыва) составляет более 30 м;
- V. Прочие ПИ, в том числе для военных и специальных нужд, не вошедшие в I–IV классы.

Классы опасных грузов, содержащих пиротехнические составы и пиротехнические изделия, представлены в табл. 2.

ПИ должны обеспечивать максимально допустимый уровень безопасности, в том числе:

- пиротехнические изделия I–IV классов не должны детонировать от встроенного узла запуска или

внешнего детонатора, а случайное срабатывание одного изделия не должно приводить к одновременному срабатыванию изделий в соседних упаковках;

- применение ПИ бытового назначения не предполагает проведение пользователем каких-либо регламентных работ. Проверка работоспособности и контроль электрических цепей инициирования этих изделий не должны входить в перечень мероприятий при их эксплуатации, а для изделий I класса (1-й группы) использование электрических систем не допускается;
- конструкция ПИ бытового назначения должна исключать воздействие на пользователя опасных факторов, а температура поверхностей, контактирующих с рукой пользователя, не должна превышать 65 °С. Для этих изделий устанавливаются ограничения по силе отдачи и крутящему моменту.

ПИ бытового назначения ручного пуска должны иметь замедлитель, обеспечивающий безопасность пуска и задержку проявления ОФП на время, необходимое для выхода пользователя из опасной зоны. Это время должно составлять не менее 2 с. Допускается отсутствие замедлителей у изделий, при приведении в действие которых безопасность пользователя обеспечивается конструктивными элементами или размером опасной зоны 0,5 м.

Время замедления для ПИ бытового назначения, создающих эффект на высоте (ракеты, римские свечи, мини-салюты и др.), должно обеспечивать безопасный выход пользователя за пределы опасной зоны.

При использовании в ПИ бытового назначения состава с задержкой срабатывания более 10 с это

**Таблица 2.** Классы и подклассы опасных грузов, содержащих пиротехнические составы и пиротехнические изделия

Класс	Подкласс	Наименование	Классификационные признаки
I	1.2	Пиротехническая продукция, не взрывающаяся массой	Пиротехнические составы и изделия, которые характеризуются опасностью разбрасывания, но не создают опасности взрыва массой
I	1.3	Пиротехническая продукция пожароопасная, не взрывающаяся массой	Пиротехнические составы и изделия, которые характеризуются пожарной опасностью, а также незначительной опасностью взрыва, либо незначительной опасностью разбрасывания, либо тем и другим, но не характеризуются опасностью взрыва массой
I	1.4	Пиротехническая продукция, не представляющая значительной опасности	Пиротехнические составы и изделия, представляющие лишь незначительную опасность взрыва в случае воспламенения и инициирования при перевозке. Эффекты проявляются в основном внутри упаковки, при этом не ожидается выброса осколков значительных размеров или на значительное расстояние
IV	4.1	Легковоспламеняющиеся и твердые вещества	Пиротехнические составы и изделия, способные воспламениться от кратковременного (до 30 с) воздействия источника зажигания с низкой энергией, а также воспламеняющиеся от трения

Примечание. ПИ бытового назначения рассматриваются в качестве опасных грузов, отнесенных к подклассам 1.4 и 4.1, а технического назначения — к подклассам 1.1–4.1.

время должно быть указано в инструкции по применению.

Траектория полета изделия, снабженного устройствами активного выброса искр и пламени, не должна отклоняться от направления запуска более чем на  $7,5^\circ$ .

ПИ и их элементы, создающие эффект на высоте, должны догорать до падения на землю на высоте 3 м. Возможность падения на землю ПИ и их элементов в пределах установленной опасной зоны должна быть оговорена в нормативной документации и в инструкции на изделие.

ПИ бытового назначения не должны выделять и содержать в продуктах сгорания вредные вещества в опасных концентрациях.

ПИ не должны воспламеняться при падении в упаковке завода-изготовителя на бетонное основание (стальную плиту) с высоты 12 м. Они должны сохранять потребительские свойства и безопасность после случайного падения в потребительской упаковке и без нее на жесткое основание с высоты 1,5 м при предельных значениях температуры, установленных для изделия.

Импортные изделия должны соответствовать требованиям пожарной безопасности, которые предъявляются к отечественным ПИ. Соответственно, требования безопасности (в том числе пожарной) устанавливаются для каждой ввозимой на территорию России партии изделий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вогман Л. П., Сотников О. В.* Нормирование пожарной опасности фейерверочных пиротехнических изделий // Пожаровзрывобезопасность. — 1998. — Т. 7, № 2. — С. 3–11.
2. *Вогман Л. П., Лепесий В. В.* Требования пожарной безопасности к пиротехническим изделиям бытового назначения // Пожарная безопасность. — 1998. — № 3. — С. 51–57.
3. *Вогман Л. П., Зуйков В. А., Татаров В. Е., Лепесий В. В.* Разработка рекомендаций по обеспечению пожарной безопасности фейерверочных пиротехнических изделий // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 3. — С. 24–41.
4. *Вогман Л. П. и др.* Требования пожарной безопасности при обращении пиротехнической продукции. Обзорная информация. — М.: ВНИИПО, 2011. — 95 с.
5. 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. 1), ст. 3579.
6. Технический регламент о безопасности пиротехнических составов и содержащих их изделий: утв. постановлением Правительства РФ от 24.12.2009 № 1082. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/97019> (дата обращения: 05.06.2015).
7. Требования пожарной безопасности при распространении и использовании пиротехнических изделий: утв. постановлением Правительства РФ от 22.12.2009 № 1052. URL: <http://base.garant.ru/196976> (дата обращения: 05.06.2015).
8. ГОСТ Р 51270–99. Изделия пиротехнические. Общие требования безопасности. — Введ. 01.01.2000. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51270-99> (дата обращения: 05.06.2015).
9. ГОСТ Р 51271–99. Изделия пиротехнические. Методы испытаний. — Введ. 01.01.2000. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51271-99> (дата обращения: 05.06.2015).
10. Правила противопожарного режима в Российской Федерации: постановление Правительства Российской Федерации от 25.04.2012 № 390; введ. 03.05.2012 // Собрание законодательства РФ. — 07.05.2012. — № 19, ст. 2415.
11. ГОСТ 19433–88. Грузы опасные. Классификация и маркировка. — Введ. 01.01.1990. URL: <http://base.garant.ru/5369673> (дата обращения: 01.06.2015).
12. СТО 4.3.1–2003. Изделия пиротехнические. Правила безопасности при обращении с пиротехнической продукцией. — Введ. 01.01.2004. — Сергиев Посад: Асс. “Рapid-фейерверк”, 2003. — 15 с.
13. СТО 4.3.2–2003. Изделия пиротехнические. Порядок и правила организации и проведения фейерверков. — Введ. 01.01.2004. — Сергиев Посад: Асс. “Рapid-фейерверк”, 2003. — 15 с.
14. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности при взрывных работах”: приказ Ростехнадзора от 16.12.2013 № 605. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499066484> (дата обращения: 05.06.2015).
15. Пиротехника: мифы и реальность / Под ред. Н. М. Вареных. — Сергиев Посад: Изд-во “Русская пиротехника”, 2009. — 43 с.
16. *Демидов А. Н., Лихачев В. А., Фрейман А. А.* Краткий курс пиротехники. — Т. VIII. — Сергиев Посад: Изд-во “Русская пиротехника”, 2008. — 304 с.
17. *Будников М. А. и др.* Взрывчатые вещества и пороха. — М.: Гос. изд-во оборон. пром-ти, 1955. — 363 с.
18. *Горст А. Г.* Пороха и взрывчатые вещества. — М.: Машиностроение, 1972. — 207 с.



19. Кармолин А. П., Чернигов В. Д., Корицунов Ю. Н. Безопасная перевозка взрывчатых веществ железнодорожным транспортом. — М.: Транспорт, 1992. — 383 с.
20. Sprengstoffe. Pirotechnische Gegenstände / Feuerwerk. G. 1.2.1976–87.
21. NFPA 1124. Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles. Edition 2013. URL: <http://www.nfpa.org/aboutthecodes/?mode=code&code=1124> (дата обращения: 01.06.2015).
22. NFPA 1126. Standard for the Use of Pyrotechnics before a Proximate Audience. Edition 2011. URL: <http://www.techstreet.com/products/1724006> (дата обращения: 01.06.2015).
23. ГОСТ Р 50810–95. Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация. — Введ. 01.01.1996. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-50810-95> (дата обращения: 01.06.2015).

Материал поступил в редакцию 10 июня 2015 г.

**Для цитирования:** *Вогман Л. П., Зуйков В. А.* Нормы и правила по обеспечению пожарной безопасности при обращении пиротехнической продукции. Часть I. Общие представления о пиротехнической продукции, методах контроля и классификации // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 7–17. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.7-17.

English

## RULES AND REGULATIONS TO ENSURE FIRE SAFETY WHEN HANDLING PYROTECHNICS.

### Part I. General information about pyrotechnic products, methods of control and classification

**VOGMAN L. P.**, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of All-Russian Research for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIIPO, 12, Moscow Region, Balashikha, 143903, Russian Federation; e-mail address: vniipo-3-5-3@ya.ru)

**ZUYKOV V. A.**, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of All-Russian Research for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIIPO, 12, Moscow region, Balashikha, 143903, Russian Federation)

#### ABSTRACT

Every year on the eve of New year and other holidays for entrepreneurs, legal entities and people simply awakened interest in pyrotechnics, as fireworks and shows are often one of the main parts of the holiday, literally and figuratively decorating celebration. At the same time hold the interest and to the regulatory requirements of the purchase, sale and storage of pyrotechnics. The two-part series, offered to the reader, are designed to reduce the lack of knowledge of consumer of fireworks products about fire safety requirements in the process of her conversion (sale, storage, transportation, use, disposal) and thus contribute to reducing injuries and fires. The first article describes general information about pyrotechnic compositions, fireworks pyrotechnic products and their properties, the classification of the DRF. The analysis of factors affecting the rate of combustion of the pyrotechnic composition (nature of the composition, the material of the housing part, a shell, thermal conductivity and heat capacity of the composition, temperature, pressure, formation of intermediate products of combustion). In summary, the presented methods to assess fire danger fireworks pyrotechnic products.

**Keywords:** fire safety; pyrotechnic products; methods; classification; fire danger indexes.

#### REFERENCES

1. Vogman L. P., Sotnikov O. V. Normirovaniye pozharной opasnosti feyerverochnykh pirotekhnicheskikh izdeliy [Standards on Fire Safety of Fireworks]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 1998, vol. 7, no. 2, pp. 3–11.
2. Vogman L. P., Lepesiy V. V. Trebovaniya pozharной bezopasnosti k pirotekhnicheskim izdeliyam bytovogo naznacheniya [Fire safety requirements for pyrotechnic products, household products]. *Pozharная bezopasnost — Fire Safety*, 1998, no. 3, pp. 51–57.

3. Vogman L. P., Zuykov V. A., Tatarov V. E., Lepesiy V. V. Razrabotka rekomendatsiy po obespecheniyu pozharnoy bezopasnosti feyerverochnykh pirotekhnicheskikh izdeliy [Development of recommendations for fire safety of fireworks pyrotechnic products]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2002, vol. 11, no. 3, pp. 24–41.
4. Vogman L. P. et al. *Trebovaniya pozharnoy bezopasnosti pri obrashchenii pirotekhnicheskoy produktsii. Obzornaya informatsiya* [Fire safety requirements when handling pyrotechnics. Overview]. Moscow, All-Russian Research for Fire Protection Publ., 2011. 95 p.
5. *Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
6. *Technical regulation on safety of pyrotechnic compositions and products containing them. Resolution of the Government of the Russian Federation on 24.12.2009 No. 1082*. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/97019> (Accessed 5 June 2015) (in Russian).
7. *Fire safety requirements the sale and use of fireworks. Resolution of the Government of the Russian Federation on 22.12.2009 No. 1052*. Available at: <http://base.garant.ru/196976> (Accessed 5 June 2015) (in Russian).
8. *State standard of the Russian Federation 51270–99. Pyrotechnic goods. General safety requirements*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51270-99> (Accessed 5 June 2015) (in Russian).
9. *State standard of the Russian Federation 51271–99. Pyrotechnic goods. Methods of certification tests*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51271-99> (Accessed 5 June 2015) (in Russian).
10. Rules of the fire prevention regime in the Russian Federation. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 07.05.2012, no. 19, art. 2415 (in Russian).
11. *Interstate standard 19433–88. Dangerous goods. Classification and marking*. Available at: <http://base.garant.ru/5369673> (Accessed 1 June 2015) (in Russian).
12. *Standard of the organization 4.3.1–2003. Articles pyrotechnic. Safety rules when handling pyrotechnic products*. Sergiev Posad, Ass. “Rapid-fireworks”, 2003. 15 p. (in Russian).
13. *Standard of the organization 4.3.2–2003. Articles pyrotechnic. The procedure and rules of organization and holding of fireworks*. Sergiev Posad, Ass. “Rapid-fireworks”, 2003. 15 p. (in Russian).
14. *Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety “Safety Regulations for Blasting”. Order of Ros-technadzor on 16.12.2013 No. 605*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499066484> (Accessed 5 June 2015) (in Russian).
15. Varenikh N. M. (ed.). *Pirotekhnika: mify i realnost* [Pyrotechnics: myths and reality]. Sergiev Posad, Publishing House “Russian Fireworks”, 2009. 43 p.
16. Demidov A. N., Likhachev V. A., Freiman A. A. *Kratkiy kurs pirotekhniki* [A short course in pyrotechnics]. Vol. VIII. Sergiev Posad, Publishing House “Russian Fireworks”, 2008. 304 p.
17. Budnikov M. A. et al. *Vzryvchatyye veshchestva i porokha* [Explosives and gunpowder]. Moscow, State Publishing House of the Defensive Industry, 1955. 363 p.
18. Gorst A. G. *Porokha i vzryvchatyye veshchestva* [Gunpowder and explosives]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1972. 207 p.
19. Carmolin A. P., Chernigov D. V., Korshunov Yu. N. *Bezopasnaya perevozka vzryvchatykh veshchestv zheleznodorozhnym transportom* [Safe transportation of explosives by rail]. Moscow, Transport Publ., 1992. 383 p.
20. *Sprengstoffe. Pirotechnische Gegenstände / Feuerwerk*. G. 1.2.1976–87.
21. *NFPA 1124. Code for the Manufacture, Transportation, Storage, and Retail Sales of Fireworks and Pyrotechnic Articles. Edition 2013*. Available at: <http://www.nfpa.org/aboutthecodes/?mode=code&code=1124> (Accessed 1 June 2015).
22. *NFPA 1126. Standard for the Use of Pyrotechnics before a Proximate Audience. Edition 2011*. Available at: <http://www.techstreet.com/products/1724006> (Accessed 1 June 2015).
23. *State standard of the Russian Federation 50810–95. Fire hazard of textiles. Decorative textiles. Flammability test method and classification*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-50810-95> (Accessed 1 June 2015) (in Russian).

**For citation:** Vogman L. P., Zuykov V. A. Normy i pravila po obespecheniyu pozharnoy bezopasnosti pri obrashchenii pirotekhnicheskoy produktsii. Chast I. Obshchiye predstavleniya o pirotekhnicheskoy produktsii, metodakh kontrolya i klassifikatsii [Rules and regulations to ensure fire safety when handling pyrotechnics. Part I. General information about pyrotechnic products, methods of control and classification]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 7–17. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.7-17.

**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)

**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)

**А. А. ЩЕРБИНИНА**, аспирант 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

## ОБ УСЛОВИЯХ “ВЗРЫВНОГО” РАЗРУШЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ КАПЛИ ЖИДКОСТИ ПРИ КИПЕНИИ И ИНТЕНСИВНОМ ИСПАРЕНИИ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

Представлены результаты моделирования теплопереноса при нагреве, кипении, испарении и “взрывном” разрушении неоднородной капли воды с твердым углеродистым включением в среде высокотемпературных газов. Установлены характерные времена реализации рассматриваемых процессов и их типичные стадии (прогрев жидкости, испарение с внешней поверхности, пузырьковое кипение на внутренних границах раздела сред, рост размеров пузырьков, “взрывное” разрушение капли). С использованием трех моделей теплопереноса проанализировано влияние на интенсивность прогрева и фазовых переходов наличия парового буферного слоя в области контакта твердого включения с пленкой жидкости, а также полноты покрытия пленкой жидкости поверхности твердого включения. Выделены необходимые условия “взрывного” парообразования неоднородной капли жидкости.

**Ключевые слова:** испарение; “взрывное” парообразование; неоднородная капля жидкости; твердое включение; высокотемпературная газовая среда.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.08.18-26

### Введение

Одной из основных технологий тушения пожаров потоком распыленной жидкости является использование для подачи в зону горения массива мелкодисперсных капель тушащей жидкости [1–11]. Для повышения эффективности и полноты испарения тушащего жидкостного состава в таких технологиях необходимо прибегать к дроблению капель до характерных размеров порядка нескольких сотен и даже десятков микрометров [1–11]. Однако результаты выполненных в последние годы экспериментальных исследований [12–15] показали возможность достаточно интенсивного уноса мелких (менее 0,5 мм) капель жидкости восходящим потоком высокотемпературных продуктов сгорания. Это, напротив, свидетельствует в пользу применения крупных (не менее 1 мм) капель тушащей жидкости для снижения в зоне горения температуры и концентрации продуктов сгорания.

В качестве одного из способов интенсификации процесса испарения капель распыленной тушащей жидкости можно рассматривать введение в капли непрозрачных твердых неметаллических включений [12]. В работе [15] представлены результаты исследований характерных скоростей испарения неоднородных капель с применением современных оптических методов (PIV [16, 17], IPI [18, 19], SP [20, 21]). Анализируя результаты экспериментов [15], можно предположить, что наличие в каплях жидкости твердых непрозрачных неоднородностей может инициировать испарение жидкости вблизи внутренней границы раздела с образованием парового слоя (пузырьков) в области контакта твердого включения и жидкости. Рост объема паровых пузырьков на внутренней границе раздела может привести к разрушению пленки жидкости неоднородной капли с образованием более мелких капель жидкости. Этот эффект позволит в несколько раз повысить площадь испарения.

© Стрижак П. А., Пискунов М. В., Щербинина А. А., 2015

рения жидкостного состава в зоне реального пожара. Проведение исследований закономерностей, связанных с образованием парового зазора в зоне контакта жидкости с твердым включением, осложняется высокой скоростью протекающих при этом процессов теплопереноса при испарении неоднородных капель в среде высокотемпературных ( $T_f > 600$  К) газов. На сегодняшний день отсутствуют даже упрощенные модели для прогнозирования условий “взрывного” парообразования неоднородных капель.

Цель настоящей работы — создание группы моделей теплопереноса для исследования основных закономерностей “взрывного” парообразования неоднородных (с твердыми непрозрачными частицами) капель типичной тушащей жидкости — воды в потоке высокотемпературных продуктов сгорания.

### Постановка задачи

При формулировании физической постановки решаемой задачи теплопереноса использовалась односторонняя осесимметричная схема, приведенная на рис. 1. Считалось, что в начальный момент времени (см. рис. 1,а) включение полностью покрыто пленкой жидкости равномерной толщины (рассматривался идеализированный вариант). Принималось, что начальные температуры жидкости и включения ( $T_0 = 300$  К) существенно ниже температуры газовой среды ( $T_f = 600 \div 1500$  К). В качестве материала твердого включения рассматривался углерод, газов — продукты сгорания технического спирта, жидкости — дистиллированная вода.

При температурах  $T_0$  и  $T_f$  прогрев жидкости происходил за счет кондуктивного и радиационного теплопереноса с учетом эндотермических фазовых превращений на границах *включение – жидкость* и *жидкость – газ*. Эти превращения приводили к уменьшению характерной толщины пленки воды вокруг включения, вследствие чего размер капли уменьшался, а толщина парового слоя увеличива-

лась (см. рис. 1,б). За счет подведенной газовой средой теплоты и ее прохождения в глубь гетерогенной капли (вследствие прозрачности жидкости и паров) большая часть энергии аккумулировалась у границы *включение – пар*. Это вызывало резкий рост температуры на этой границе. Буферный паровой слой в силу его малой толщины интенсивно прогревался, что приводило к доминированию эндотермических превращений на внутренних границах раздела сред в капле по сравнению с реализуемыми на свободной поверхности. В условиях интенсивного парообразования внутри капли давление паров существенно превышало давление поверхностного натяжения жидкости и газовой среды.

Помимо приведенной выше физической модели теплопереноса при нагреве неоднородной капли жидкости в среде высокотемпературных газов, для сравнительного анализа результатов численных исследований были использованы еще две модели:

- модель, не учитывающая образование парового слоя на границе раздела сред (см. рис. 1,а);
- модель, предусматривающая неполное покрытие твердого включения пленкой жидкости (в проведенных оценочных экспериментах установлено, что высока вероятность формирования неоднородной капли такого вида). В этом случае к внутренним границам раздела сред энергия может подводиться через включение и жидкость.

При постановке задачи принималось, что условия “взрывного” парообразования возможны при достижении на границе включения температур, соответствующих кипению жидкости (для воды  $T \approx 370$  К). По результатам решения задачи рассчитывалось время нагрева неоднородной капли до достижения условия интенсивного парообразования  $T(R_1) \approx 370$  К (где  $R_1$  — радиус твердого включения, м). Оно считалось временем “взрывного” парообразования  $\tau_h$  (завершающегося распадом неоднородной капли).

Для моделирования описанных процессов (см. рис. 1,б) применялась следующая система нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных ( $0 < \tau \leq \tau_h$ ):

- для твердого включения,  $0 < R < R_1$ :

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial \tau} = \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial T_1}{\partial R} \right); \quad (1)$$

- для парового слоя,  $R_1 < R < R_2$ :

$$c_4 \rho_4 \frac{\partial T_4}{\partial \tau} = \lambda_4 \left( \frac{\partial^2 T_4}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial T_4}{\partial R} \right) + \frac{\partial H_4(R)}{\partial R}; \quad (2)$$

- для пленки жидкости,  $R_2 < R < R_3$ :

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial \tau} = \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial R^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial T_2}{\partial R} \right) + \frac{\partial H_2(R)}{\partial R}. \quad (3)$$

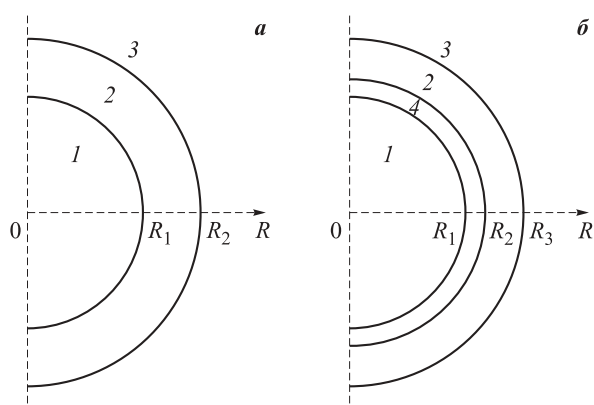


Рис. 1. Схема области решения задачи теплопереноса в начальный ( $\tau = 0$ ) момент времени (а) и при  $0 < \tau \leq \tau_h$  (б): 1 — включение; 2 — жидкость; 3 — газовая среда; 4 — пары

Начальные ( $\tau = 0$ ) условия (см. рис. 1,а):  $T = T_0$  при  $0 < R < R_2$ .

Граничные условия при  $0 < \tau \leq \tau_h$  (см. рис. 1,б):  
 $R = 0$ :

$$\partial T_1 / \partial R = 0; \quad (4)$$

$R = R_1$ :

$$\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial R} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial R} - H(R_1); \quad (5)$$

$R = R_2$ :

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial R} = \lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial R} + Q_e W_e(T); \quad (6)$$

$R = R_3$ :

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial R} = H(R_3) - Q_e W_e(T). \quad (7)$$

Для вычисления плотности теплового потока использовались математические выражения законов Стефана – Больцмана и Бугера – Ламберта – Бера:

$$H(R_3) = \varepsilon_2 \sigma [T_f^4 - T(R_3)^4]; \quad (8)$$

$$H(R_2) = H(R_3) \exp(-k_{\lambda 2}[R_3 - R_2]); \quad (9)$$

$$H(R_1) = H(R_2) \exp(-k_{\lambda 4}[R_2 - R_1]); \quad (10)$$

$$H_2(R) = H(R_3) \exp(-k_{\lambda 2}[R_3 - R]), \quad R_2 < R < R_3; \quad (11)$$

$$H_4(R) = H(R_2) \exp(-k_{\lambda 4}[R_2 - R]), \quad R_1 < R < R_2. \quad (12)$$

Здесь:  $\tau$  — время, с;  $R$  — радиальная координата, м;  $c$  — теплоемкость, Дж/(кг·К);  $\rho$  — плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $T$  — температура, К;  $\lambda$  — теплопроводность, Вт/(м·К);  $H(R)$  — плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $T_0$  — начальная температура, К;  $Q_e$  — теплота фазового перехода, Дж/кг;  $W_e$  — скорость испарения, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $\varepsilon$  — степень черноты;  $\sigma$  — постоянная Стефана – Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $k_\lambda$  — коэффициент поглощения энергии; индексы “1”, “2”, “3” и “4” соответствуют включению, жидкости, газам и парам воды.

Характерный размер парового слоя ( $R_2 - R_1$ ) (см. рис. 1,б) и общий размер капли  $R_3$  вычислялись при использовании подхода, основанного на применении группы выражений, учитывающих динамическое давление паров, давление жидкости и внешней среды [22–24].

Скорость испарения  $W_e$  на границе раздела сред *включение – жидкость* и *жидкость – газ* определялась с использованием зависимости, установленной в результате обработки экспериментальных данных [25]:  $W_e(T) = 5 \cdot 10^{-5} \exp[0,02T]$ .

Для оценки влияния подвода энергии к внутренней границе раздела через твердое включение и жидкость на условия “взрывного” разрушения (модель, учитывающая неполное обволакивание твердой час-

тицы пленкой жидкости) граничное условие (4) заменялось выражением

$$R = 0: \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial R} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial R} - H(R_0), \quad (13)$$

где  $H(R_0) = \varepsilon_1 \sigma [T_f^4 - T(R_0)^4]$ .

Выражение (13) учитывало подвод энергии к включению от газовой среды напрямую (без пленки жидкости).

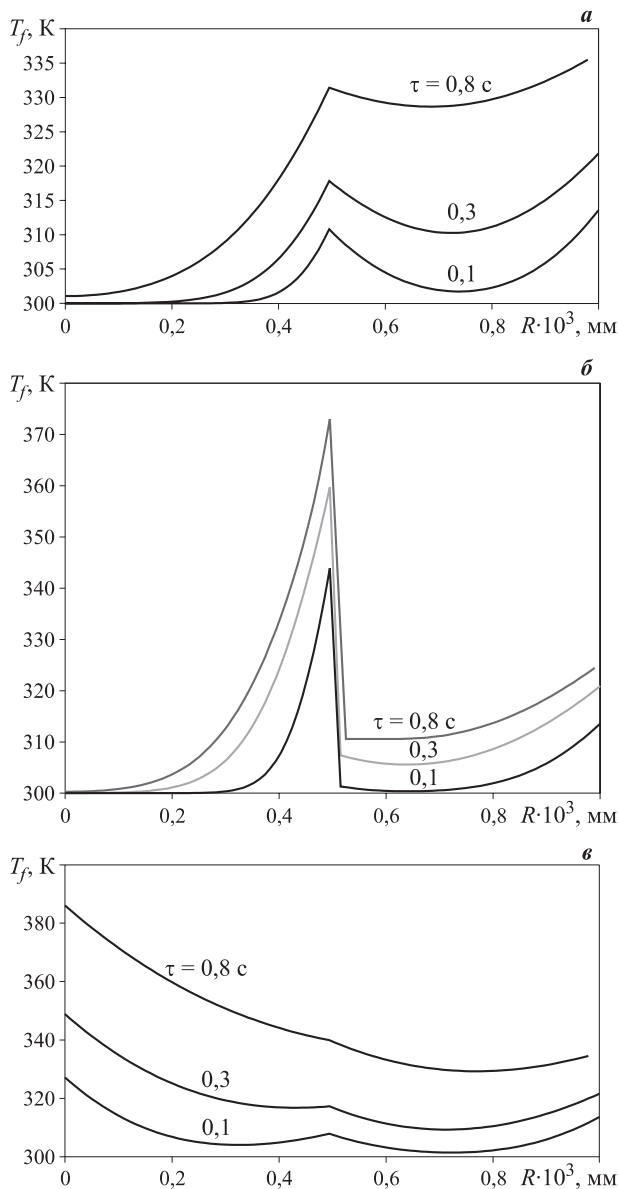
Система дифференциальных уравнений (1)–(13) решалась методом конечных разностей [26, 27]. Для решения разностных аналогов дифференциальных уравнений использовался локально-одномерный метод [26, 27]. Нелинейные разностные аналоги дифференциальных уравнений решались методом итераций [26, 27]. Решение одномерных разностных уравнений проводилось методом прогонки с использованием неявной четырехточечной разностной схемы [26, 27]. Для оценки достоверности результатов численных исследований выполнялась проверка консервативности разностной схемы, алгоритм которой представлен в [22–24].

### Результаты и их обсуждение

В качестве исходных данных в теоретических исследованиях принимались: начальная температура капли воды с твердым включением  $T_0 = 300$  К, температура внешней газовой среды  $T_f = 600 \div 1500$  К; исходный размер капли  $R_1 = 0,5 \div 2,0$  мм; начальная толщина пленки жидкости  $\delta = 0,1 \div 1,0$  мм. Теплофизические характеристики элементов (углеродистой частицы, дистиллированной воды, продуктов сгорания технического спирта) исследуемой системы и оптические свойства жидкости и материала включения выбирались в соответствии с данными [28–31].

По результатам моделирования установлены особенности теплопереноса в капле при реализации различных схем парообразования. В частности, удалось выявить влияние эффекта формирования парового зазора между пленкой жидкости и включением на условия “взрывного” разрушения, проанализировать физические различия механизмов подвода энергии к внутренним границам раздела сред через включение и жидкость, установить роль лучистого теплопереноса в гетерогенной капле.

Так, на рис. 2,а представлены типичные для рассматриваемой неоднородной капли распределения температуры жидкости в процессе ее нагревания в высокотемпературной газовой среде (рассмотрен случай без учета буферного парового слоя между включением и жидкостью (модель 1)). Для этого случая можно отметить существенно неравномерный прогрев пленки жидкости по толщине, что обусловлено значительным влиянием фазовых превращений на границах раздела сред и определяющим



**Рис. 2.** Распределения температуры в неоднородной капле ( $R = 1$  мм,  $\delta = 0,5$  мм,  $T_f = 1200$  К) в разные моменты времени для трех моделей: а — модель 1; б — модель 2; в — модель 3

вкладом лучистого теплопереноса в капле. В частности, из рис. 2,а хорошо видно, что температура на границе *включение – жидкость* растет быстрее, чем по толщине пленки жидкости.

При формировании парового зазора между жидкостью и включением (модель 2) распределение температур изменяется довольно существенно (рис. 2,б). В первую очередь, можно отметить значительное снижение характерных времен прогрева поверхности включения до температур, обеспечивающих кипение жидкости на внутренних границах раздела сред, и выполнение условий “взрывного” парообразования относительно результатов применения модели без учета формирования парового слоя на внутренней границе раздела *включение – жидкость*. Это обусловлено тем, что аккумуляция лучистого теп-

лового потока от газовой среды и расходование энергии на эндотермический фазовый переход происходит на разных границах: *включение – пар* и *пар – жидкость*. Так как жидкость и пар прозрачны, а включение непрозрачно, основная доля лучистого теплового потока аккумулируется у поверхности включения. Формирование и рост буферного парового слоя приводит к перемещению границы *пар – жидкость* от границы раздела сред к поверхности капли, что интенсифицирует прогрев пара в малом приповерхностном слое и, как следствие, вызывает рост давления паров в этой области. Характерные времена “взрывного” разрушения существенно меньше, чем в неоднородной капле без учета парового слоя у внутренних границ раздела сред.

На рис. 2,в представлены характерные распределения температуры в неоднородной капле при реализации третьей схемы (модель 3), т. е. при подводе энергии к внутренним границам раздела сред через включение и жидкость (пленка жидкости частично покрывает твердое включение).

Вследствие большей теплопроводности включения по сравнению с жидкостью и паром энергия внешней газовой среды подводится к границе *включение – жидкость* через твердую частицу быстрее (см. рис. 2,в), что приводит к интенсификации фазовых превращений на этой границе за меньший интервал времени, чем при прогреве только через пленку жидкости вокруг включения. Этим объясняются меньшие значения времен  $\tau_h$ , а также более низкие предельные температуры газов, при которых происходит “взрывное” разрушение капли (см. таблицу).

Представленные в таблице зависимости позволяют сделать вывод о большой роли теплофизических характеристик материала включения. При более высоком по сравнению с жидкостью значении коэффициента теплопроводности включения времена  $\tau_h$  могут быть снижены в условиях непосредственного теплообмена между твердым включением и высокотемпературными газами (большая часть энергии газов будет подведена к внутренним границам раздела сред через частицу, а не жидкость). При меньшем по сравнению с жидкостью коэффициенте теплопроводности включения целесообразным представляется использование другого эффекта — аккумуляции энергии, проходящей через жидкость, у поверхности непрозрачного включения с малой теплопроводностью.

Выявленными при моделировании физическими особенностями можно объяснить и характерные минимальные температуры газов, при которых для разных моделей теплопереноса возможно “взрывное” разрушение капель. В частности, из таблицы видно, что для условий подвода энергии к внутренней границе раздела сред через включение и жид-

Времена “взрывного” разрушения  $\tau_h$  в результате расчета с применением трех моделей

Модель	Значение $\tau_h$ , с, при $T_f$ , К								
	1500	1400	1300	1200	1100	1000	900	800	
1	0,638	1,773	7,393	Нет “взрывного” разрушения					
2	0,0261	0,0637	0,181	0,6	0,89	2,3	4,477	8,165	
3	0,495	0,739	1,209	2,852	Нет “взрывного” разрушения				

кость условия “взрывного” разрушения реализуются и при температурах газов около 800 К. Для двух других моделей минимальные температуры газов выше этого значения (1200 и 1300 К соответственно). Тем не менее, установленные при моделировании минимальные температуры газов, достаточные для “взрывного” парообразования, удовлетворительно согласуются с полученными в оценочных экспериментах (в первую очередь это относится к результатам численного моделирования с применением модели 3). Очевидно, что соответствие теоретических и экспериментальных результатов с минимальными отклонениями может быть достигнуто при разработке двумерных или даже пространственных моделей (наиболее полно учитывающих процессы теплопереноса при нагреве и испарении неоднородных капель в высокотемпературных газах). Удовлетворительное соответствие характерных предельных температур газов в экспериментах и моделях может быть достигнуто также при уточнении требуемой температуры на внутренней границе раздела сред для реализации “взрывного” разрушения капли. В проведенной работе таковой считалась температура около 370 К. В реальной практике она может быть ниже, например около 340–350 К. Следствием этого может быть снижение времени  $\tau_h$  и достаточных для возникновения “взрывного” разрушения капли температур газов практически до выявленных в экспериментах. К сожалению, до настоящего времени не разработаны подходы и экспериментальные методы для достоверного измерения температуры на границе контакта твердой частицы с пленкой жидкости в условиях интенсивного парообразования и при малых характерных размерах неоднородной капли, что вынуждает принимать допущение о ее значении в достаточно широком диапазоне (340–370 К).

Результаты выполненных теоретических исследований показали, что “взрывное” разрушение не-

однородных капель в высокотемпературных газовых средах возможно за счет интенсивного парообразования. Установленный эффект “взрывного” разрушения стабильно реализуется в условиях высоких температур газовой среды, что обуславливает возможность и целесообразность его применения в различных газопарокапельных технологиях (полидисперсного пожаротушения, термической или огневой очистки воды, формирования газопарокапельных теплоносителей, обработки зашлакованных поверхностей энергетического оборудования газожидкостными потоками) при интенсификации парообразования. Разработанные модели позволят прогнозировать возникновение “взрывного” парообразования в случаях применения различных водяных эмульсий, суспензий и материалов твердых включений.

### Заключение

Выполненные теоретические исследования расширяют современные представления о процессах кипения и испарения существенно неоднородных капель жидкостей при различных условиях теплообмена (в частности, в слабо изученной области высоких температур газов, соответствующих типичным пламенам). Результаты численного моделирования могут быть использованы при разработке новых и совершенствовании существующих технологий, в которых реализуются интенсивные фазовые превращения неоднородных капель (тушение пожаров распыленными потоками жидкости, термическая очистка воды, формирование газопаровых теплоносителей и др.).

\*\*\*

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

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Виноградов А. Г. Учет спектрального состава теплового излучения при расчете коэффициента пропускания капли воды // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 9. — С. 64–73.
3. Саламов А. А. Современная система пожаротушения “водяной туман” высокого давления // Энергетик. — 2012. — № 3. — С. 16–18.

4. *Виноградов А. Г.* Методика расчета экранирующих свойств водяных завес // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 1. — С. 45–56.
5. *Виноградов А. Г.* Применение теории затопленных струй к расчету параметров водяных завес // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 76–87.
6. *Абдурагимов И. М.* О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 4. — С. 60–82.
7. *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.
8. *Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В.* Получение и изучение горючести микроэмульсий вода – ПАВ – со-ПАВ – 1,1,2,2-тетрафтордибромэтан // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 4. — С. 55–57.
9. *Соковиков 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.
10. *Сегаль М. Д.* Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты кабельных сооружений АЭС // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2011. — № 4. — С. 61–64.
11. *Xiao X. K., Cong B. H., Wang X. S., Kuang K. Q., Richard K. K. Yuen, Liao G. X.* On the behavior of flame expansion in pool fire extinguishment with steam jet // Journal of Fire Sciences. — 2011. — Vol. 29, No. 4. — P. 339–360. DOI: 10.1177/0734904110397812.
12. *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.
13. *Волков П. С., Забелин М. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Влияние твердых включений в каплях жидкости на интенсивность парообразования в зоне пламени // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 10–17.
14. *Волков П. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Влияние твердых включений в каплях жидкости на характеристики их испарения при движении через высокотемпературную газовую среду // Журнал технической физики. — 2014. — Т. 84, № 12. — С. 33–37.
15. *Волков П. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Анализ влияния начальной температуры распыленной воды на интегральные характеристики ее испарения при движении через зону “горячих” газов // Инженерно-физический журнал. — 2014. — Т. 87, № 2. — С. 436–444.
16. *Gao Q., Wang H. P., Shen G. X.* Review on development of volumetric particle image velocimetry // Chinese Science Bulletin. — 2013. — Vol. 58, No. 36. — P. 4541–4556. DOI: 10.1007/s11434-013-6081-y.
17. *Simo Tala J. V., Russeil S., Bougeard D., Harion J.-L.* Investigation of the flow characteristics in a multi-row finned-tube heat exchanger model by means of PIV measurements // Experimental Thermal and Fluid Science. — 2013. — Vol. 50. — P. 45–53. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2013.05.003.
18. *Kawaguchi T., Akasaka Y., Maeda M.* Size measurements of droplets and bubbles by advanced interferometric laser imaging technique // Measurement Science and Technology. — 2002. — Vol. 13, No. 3. — P. 308–316. DOI: 10.1088/0957-0233/13/3/312.
19. *Damaschke N., Nobach H., Tropea C.* Optical limits of particle concentration for multi-dimensional particle sizing techniques in fluid mechanics // Experiments in Fluids. — 2002. — Vol. 32, No. 2. — P. 143–152. DOI: 10.1007/s00348-001-0371-x.
20. *Akhmetbekov Y. K., Alekseenko S. V., Dulin V. M., Markovich D. M., Pervunin K. S.* Planar fluorescence for round bubble imaging and its application for the study of an axisymmetric two-phase jet // Experiments in Fluids. — 2010. — Vol. 48, No. 4. — P. 615–629. DOI: 10.1007/s00348-009-0797-0.
21. *Bilsky A. V., Lozhkin Yu. A., Markovich D. M.* Interferometric technique for measurement of droplet diameter // Thermophysics and Aeromechanics. — 2011. — Vol. 18, No. 1. — P. 1–12. DOI: 10.1134/S086986431101001X.
22. *Стрижак П. А.* Влияние распределения капель в “водяном снаряде” на температуру и концентрацию продуктов сгорания в его следе // Инженерно-физический журнал. — 2013. — Т. 86, № 4. — С. 839–848.
23. *Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Тепломассоперенос при движении капель воды в высокотемпературной газовой среде // Инженерно-физический журнал. — 2013. — Т. 86, № 1. — С. 59–65.
24. *Кузнецов Г. В., Стрижак П. А.* Численное исследование влияния конвекции в смеси продуктов сгорания на интегральные характеристики испарения движущейся капли тонкораспыленной воды // Инженерно-физический журнал. — 2014. — Т. 87, № 1. — С. 98–106.



25. Кузнецов Г. В., Куйбин П. А., Стрижак П. А. Оценка численных значений констант испарения капель воды, движущихся в потоке высокотемпературных газов // Теплофизика высоких температур. — 2015. — Т. 53, № 2. — С. 264–269.
26. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М.: Наука, 1983. — 616 с.
27. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Численные методы решения задач конвекции – диффузии. — М.: Эдиториал УРСС, 1999. — 248 с.
28. Корольченко А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник. — М.: Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
29. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: ООО “Старс”, 2006. — 720 с.
30. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М.: Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.
31. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М.: Энергия, 1975. — Т. 2. — 896 с.

Материал поступил в редакцию 7 мая 2015 г.

**Для цитирования:** Стрижак П. А., Пискунов М. В., Щербинина А. А. Об условиях “взрывного” разрушения неоднородной капли жидкости при кипении и интенсивном испарении в высокотемпературной газовой среде // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 18–26. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.18-26.

English

## ABOUT CONDITIONS OF “EXPLOSIVE” DESTRUCTION OF HETEROGENEOUS LIQUID DROPLET AT BOILING AND INTENSIVE EVAPORATION IN HIGH-TEMPERATURE GASEOUS MEDIUM

**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)

**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)

**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

We present three models of heat and mass transfer in the presence of heating, boiling, evaporation and “explosive” destruction of heterogeneous water droplet with solid carbon inclusion in high-temperature gases ( $T_f \geq 600$  K) with the account and without reference to vapor buffer layer formation at an internal interface *solid inclusion – liquid*, as well as the model foreseeing incomplete cover of solid inclusion by liquid film.

Characteristic distributions of heterogeneous droplet temperature in the presence of these three models are presented. It is illustrated that the heat-up of heterogeneous droplet is more intensive in the case of vapor buffer layer at internal boundary and energy supply to interface through the inclusion and liquid (at the incomplete cover of solid inclusion by liquid film).

The extreme conditions of the inception of effect of heterogeneous droplet “explosive” destruction are formulated for conditions of heat and mass exchange foreseeing each of three models. It is shown that heat transfer at warming and the evaporation of a heterogeneous liquid droplet in high-temperature gases is more intensive in the presence of incomplete cover of solid inclusion by liquid film (minimum values of characteristic periods from the beginning of heat to realization of conditions of heterogeneous droplet “explosive” destruction  $\tau_h$  correspond to the results of the model appliance).

Developed models and the results of numerical investigations of heat transfer and phase transformations in heterogeneous liquid droplets in the presence of warming in high-temperature gases

can be used in technologies of polydisperse firefighting, thermal cleaning, formation of two-phase gas-vapor heat carrier and others.

**Keywords:** evaporation; “explosive” vaporization; heterogeneous liquid droplet; solid inclusion; high-temperature gaseous medium.

## REFERENCES

1. Korolchenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspynennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysotnykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 54–57.
2. Vinogradov A. G. Uchet spektralnogo sostava teplovogo izlucheniya pri raschete koeffitsienta propuskaniya kapli vody [Accounting of thermal radiation spectral distribution at calculation of water droplet transmittance]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 9, pp. 64–73.
3. Salamov A. A. Sovremennaya sistema pozharotusheniya “vodyanoy tuman” vysokogo davleniya [Modern system of firefighting “water fog” of high-pressure]. *Energetik — Power & Electrical Engineering*, 2012, no. 3, pp. 16–18.
4. Vinogradov A. G. Metodika rascheta ekraniruyushchikh svoystv vodyanykh zaves [Calculation method of water curtain shielding properties]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 45–56.
5. Vinogradov A. G. Primeneniye teorii zatoplennykh struy k raschetu parametrov vodyanykh zaves [Application of the submerged jet theory to calculation of water curtain parameters]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 76–87.
6. Abduragimov I. M. O mekhanizmax ognetchashchego deystviya sredstv pozharotusheniya [About mechanisms of fire extinguishing action of fire extinguishing means]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 4, pp. 60–82.
7. 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.
8. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Polucheniye i izucheniye goryuchesti mikroemulsiy voda – PAV – so-PAV – 1,1,2,2-tetrafordibrometan [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.
9. Sokovikov V. V., Tugov A. N., Grishin V. V., Kamyshev V. N. Avtomaticheskoye vodyanoye pozharotusheniye s primeneniym tonkoraspynennoy vody na elektrostantsiyakh [Automatical water fire fighting by water mist at power plants]. *Energetik — Power & Electrical Engineering*, 2008, no. 6, pp. 37–38.
10. Segal M. D. Ispolzovaniye tonkoraspynennoy vody dlya povysheniya protivopozharnoy zashchity kabelnykh sooruzheniy AES [Usage of water mist to increase the fire precautions of cable structures at Atomic Power Stations]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Problems of Safety and Emergency Situations*, 2011, no. 4, pp. 61–64.
11. Xiao X. K., Cong B. H., Wang X. S., Kuang K. Q., Richard K. K. Yuen, Liao G. X. On the behavior of flame expansion in pool fire extinguishment with steam jet. *Journal of Fire Sciences*, 2011, vol. 29, no. 4, pp. 339–360. DOI: 10.1177/0734904110397812.
12. 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.
13. Volkov R. S., Zabelin M. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye tverdykh vkluyucheny v kaplyakh zhidkosti na intensivnost paroobrazovaniya v zone plameni [Influence of solid inclusions in liquid drops on evaporation intensity in the flame]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 10–17.
14. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye tverdykh vkluyucheny v kaplyakh zhidkosti na kharakteristiki ikh ispareniya pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnuyu gazovuyu sredu [Influence of solid inclusions in liquid droplets on characteristics of their evaporation during motion through high-temperature gaseous medium]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki — Technical Physics*, 2014, vol. 84, no. 12, pp. 33–37.
15. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Analiz vliyaniya nachalnoy temperatury raspynennoy vody na integralnyye kharakteristiki yeye ispareniya pri dvizhenii cherez zonu “goryachikh” gazov [Analysis of the effect exerted by the initial temperature of atomized water on the integral characteristics of its evaporation during motion through the zone of “hot” gases]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2014, vol. 87, no. 2, pp. 436–444.

16. Gao Q., Wang H. P., Shen G. X. Review on development of volumetric particle image velocimetry. *Chinese Science Bulletin*, 2013, vol. 58, no. 36, pp. 4541–4556. DOI: 10.1007/s11434-013-6081-y.
17. Simo Tala J. V., Russeil S., Bougeard D., Harion J.-L. Investigation of the flow characteristics in a multirow finned-tube heat exchanger model by means of PIV measurements. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2013, vol. 50, pp. 45–53. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2013.05.003.
18. Kawaguchi T., Akasaka Y., Maeda M. Size measurements of droplets and bubbles by advanced interferometric laser imaging technique. *Measurement Science and Technology*, 2002, vol. 13, no. 3, pp. 308–316. DOI: 10.1088/0957-0233/13/3/312.
19. Damaschke N., Nobach H., Tropea C. Optical limits of particle concentration for multi-dimensional particle sizing techniques in fluid mechanics. *Experiments in Fluids*, 2002, vol. 32, no. 2, pp. 143–152. DOI: 10.1007/s00348-001-0371-x.
20. Akhmetbekov Y. K., Alekseenko S. V., Dulin V. M., Markovich D. M., Pervunin K. S. Planar fluorescence for round bubble imaging and its application for the study of an axisymmetric two-phase jet. *Experiments in Fluids*, 2010, vol. 48, no. 4, pp. 615–629. DOI: 10.1007/s00348-009-0797-0.
21. Bilsky A. V., Lozhkin Yu. A., Markovich D. M. Interferometric technique for measurement of droplet diameter. *Thermophysics and Aeromechanics*, 2011, vol. 18, no. 1, pp. 1–12. DOI: 10.1134/S086986431101001X.
22. Strizhak P. A. Vliyaniye raspredeleniya kapel v “vodyanom snaryade” na temperaturu i kontsentratsiyu produktov sgoraniya v yego slede [Influence of droplet distribution in a “water slug” on the temperature and concentration of combustion products in its wake]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 4, pp. 839–848.
23. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri dvizhenii kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Heat and mass transfer in the process of movement of water drops in a high-temperature gas medium]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 59–65.
24. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennyye issledovaniye vliyaniya konveksii v smesi produktov sgoraniya na integralnyye kharakteristiki ispareniya dvizhushcheyssya kapli tonkoraspylennoy vody [Numerical investigation of the influence of convection in a mixture of combustion products on the integral characteristics of the evaporation of a finely atomized water drop]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2014, vol. 87, no. 1, pp. 98–106.
25. Kuznetsov G. V., Kuybin P. A., Strizhak P. A. Otsenka chislennykh znacheniy konstant ispareniya kapel vody, dvizhushchikhsya v potoke vysokotemperaturnykh gazov [Estimation of the numerical values of the evaporation constants of water droplets moving in a flow of high-temperature gases]. *Teplofizika vysokikh temperatur — High Temperature*, 2015, vol. 53, no. 2, pp. 264–269. DOI: 10.7868/S0040364415020131.
26. Samarskiy A. A. *Teoriya raznostnykh skhem* [Theory of difference scheme]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 616 p.
27. 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. 248 p.
28. Korolchenko A. Ya. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosion hazard of substances and materials and tools of their extinguishing. Reference book]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part 1, 713 p.
29. 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.
30. Yurenev V. N., Lebedev P. D. (eds). *Teploekhnicheskii spravochnik* [Heat engineering reference book]. Moscow, Energiya Publ., 1975. Vol. 1, 743 p.
31. Yurenev V. N., Lebedev P. D. (eds). *Teploekhnicheskii spravochnik* [Heat engineering reference book]. Moscow, Energiya Publ., 1975. Vol. 2, 896 p.

**For citation:** Strizhak P. A., Piskunov M. V., Shcherbinina A. A. Ob usloviyakh “vzryvnogo” razrusheniya neodnorodnoy kapli zhidkosti pri kipenii i intensivnom isparenii v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [About conditions of “explosive” destruction of heterogeneous liquid droplet at boiling and intensive evaporation in high-temperature gaseous medium]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 18–26. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.18-26.

**В. В. СМИРНОВ**, старший преподаватель Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22); аспирант Научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: s\_vitaly2006@list.ru)

**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)

**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 научно-исследовательской группы Учебного комплекса платных услуг, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: sma@mtf.ustu.ru)

**М. П. ДАЛЬКОВ**, д-р геогр. наук, профессор кафедры пожарной тактики и службы, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620026, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: 1213874@rambler.ru)

**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; e-mail: olgamokrousova@mtf.ustu.ru)

**А. Ю. АКУЛОВ**, канд. техн. наук, начальник адъюнктуры, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: akulov-07@mail.ru)

УДК 614.841.41:547-302

## СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ. XX. ХЛОРАЛКАНЫ (часть 2)<sup>1</sup>

Рассчитана температура вспышки для набора из 34 соединений класса хлоралканов с помощью правила углеродной цепи (“ручной” вариант и с использованием пяти ранее найденных уравнений:  $t_{всп} = 0,63t_{кип} - 57,53$ ;  $T_{всп} = 24,03N_C - 0,59N_C^2 + 177$ ;  $T_{всп} = 189 + 7,72\beta^{1,5} - 0,632\beta^{2,5} + 0,08\beta^3$ ;  $T_{всп} = 198,5 + 64,99/C_{стx} + 774,8/C_{стx}^2 - 1093,01/C_{стx}^3 + 443,29/C_{стx}^4$ ;  $T_{всп} = 3,7N_C + 0,492T_{кип} + 75,63$ ). В случае хлоралканов нелинейного строения в формулы вместо стехиометрических коэффициента  $\beta$ , концентрации  $C_{стx}$  и числа атомов углерода  $N_C$  подставляются псевдокоэффициент  $\beta^*$  ( $\beta^* = \text{УУЦ} + (2\text{УУЦ} + 1 - N_C)/4$ ), псевдостехиометрическая концентрация  $C_{стx}^*$ , определяемая через  $\beta^*$ , и условная углеродная цепь (УУЦ). Проведен сравнительный анализ результатов прогнозирования по методу углеродной цепи и по методикам ГОСТ 12.1.044–89\*, Роули (Rowley), с использованием программных комплексов ACDLabs 2014 и TEST (версия 4.1). Установлено, что уравнения (2) и (3) дают наилучшие результаты (среднее абсолютное отклонение соответственно 1,25 и 1,27 %).

**Ключевые слова:** температура вспышки; свойство; зависимость; прогноз; хлоралкан; пожарная опасность.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.08.27-33

В работе Д. В. Багова [1] отмечен вклад нашей группы в развитие аддитивно-группового метода для систематизации и прогнозирования показателей по-

жарной опасности горючих веществ. В то же время высказано справедливое замечание об отсутствии данных о погрешности предлагаемого нами подхода к расчету характеристик пожарной опасности в ранее опубликованных статьях. В связи с этим начаты работы по сравнительному анализу метода углеродной цепи (МУЦ) и других основных подходов.

<sup>1</sup> Предыдущие сообщения см. в журнале “Пожаровзрывобезопасность” № 5 за 2010 г., № 6, 7, 9 за 2011 г., № 7, 9, 12 за 2012 г., № 1, 4, 5, 8 за 2013 г., № 6, 8, 9, 11, 12 за 2014 г., № 1, 2, 7 за 2015 г.

В настоящем исследовании представлены результаты сравнительного анализа МУЦ (“ручной” вариант и с помощью формул (1)–(5)) и методик ГОСТ 12.1.044–89\* (формула (6) [2])<sup>2</sup>, Роули (Rowley) (формула (7) [3]), ACDLabs 2014 и TEST, версия 4.1 (Toxicity Estimation Software Tool) на примере прогнозирования температуры вспышки в закрытом тигле ( $t_{всп}$ ,  $T_{всп}$ )<sup>3</sup>:

$$t_{всп} = 0,63t_{кип} - 57,53; \quad (1)$$

$$T_{всп} = 24,03N_C - 0,595N_C^2 + 177; \quad (2)$$

$$T_{всп} = 189 + 7,72\beta^{1,5} - 0,632\beta^{2,5} + 0,08\beta^3; \quad (3)$$

$$T_{всп} = 198,5 + \frac{64,99}{C_{стх}} + \frac{774,8}{C_{стх}^2} - \frac{1093,01}{C_{стх}^3} + \frac{443,29}{C_{стх}^4}; \quad (4)$$

$$T_{всп} = 3,7N_C + 0,492T_{кип} + 75,63; \quad (5)$$

$$t_{всп} = 0,659t_{кип} + \left[ \sum_{i=1}^n (a_i l_i) - 73,14 \right]; \quad (6)$$

$$T_{всп} = \frac{\sum (n_i f_i) + \delta}{\lambda \ln(8\beta) + 1} + \varepsilon, \quad (7)$$

где  $N_C$  — условная углеродная цепь;  
 $\beta$  — коэффициент в реакции горения перед кислородом<sup>4</sup>;  
 $C_{стх}$  — стехиометрическая концентрация<sup>5</sup>;  
 $a_i$  — структурный дескриптор  $i$ -й связи;  
 $l_i$  — количество  $i$ -х связей [2];  
 $\delta, \varepsilon, \lambda$  — эмпирические коэффициенты (табл. 1);  
 $n_i$  — количество  $i$ -х групп;  
 $f_i$  — эмпирический коэффициент  $i$ -й группы (табл. 2).

Исходные данные взяты из работ [4–11]. Результаты расчетов представлены в табл. 3. Точность методов прогнозирования температуры вспышки оценивалась с помощью среднего абсолютного отклонения  $D$  и максимального отклонения  $D_{max}$  (табл. 4):

$$D = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{T_{всп}^p - T_{всп}^э}{T_{всп}^э} \right| \cdot 100 \%, \quad (8)$$

где  $T_{всп}^p, T_{всп}^э$  — расчетное и экспериментальное значения температуры вспышки, К;  
 $n$  — количество измерений.

<sup>2</sup> Для хлораканов в ГОСТ 12.1.044–89\* также приведена модифицированная формула Орманди–Крэвена (Ormandy–Craven), но поскольку уравнение (1) является уточненным вариантом этой формулы, она не была использована в сравнительном анализе.

<sup>3</sup>  $t, T$  — температуры в °С и К соответственно.

<sup>4</sup> Для хлоралканов нелинейного строения в уравнение (3) подставляется псевдокоэффициент  $\beta^*$ :  $\beta^* = УУЦ + (2УУЦ + 1 - N_{Cl})/4$  [11].

<sup>5</sup> Для хлоралканов нелинейного строения в уравнение (4) подставляется псевдостехиометрическая концентрация  $C_{стх}^*$ , определяемая через псевдокоэффициент  $\beta^*$ .

Таблица 1. Значения коэффициентов для уравнения (7) [3]

Параметр	Спирты	Другие соединения
$\lambda$	2,4	2,13
$\delta$	-208,3	-510,49
$\varepsilon$	196,68	235,21

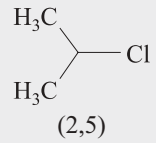
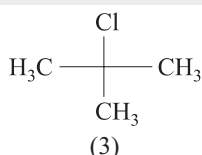
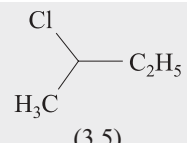
Таблица 2. Структурные дескрипторы для уравнения (7) [3]

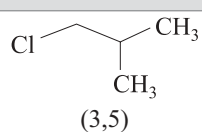
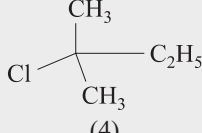
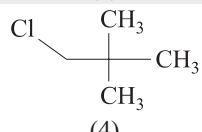
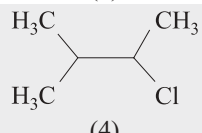
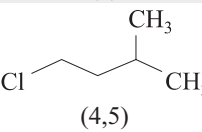
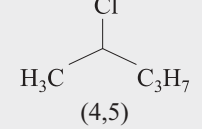
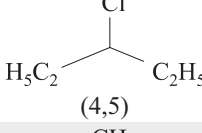
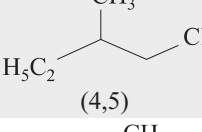
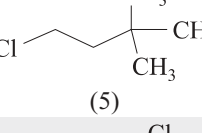
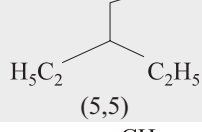
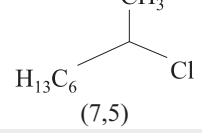
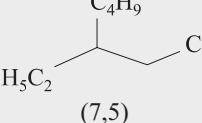
Группа	$f_i$	Группа	$f_i$
$\equiv C-$ (HC)	256,43	$O=C_R O_R-$	1192,63
$\equiv CH$ (HC)	-61,94	$-COO-$	529,37
$=C<$ (HC)	483,40	$-COOH$	1034,70
$=C_R<$ (HC)	378,53	$O=C_R O_R C_R=O$	1750,35
$=C-$ (HC)	219,78	$=O$	623,68
$=C_R H-$ (HC)	124,16	$-O-$	176,69
$=CH_2$ (HC)	-99,53	$-O_R-$	128,89
$>C<$ (HC)	561,32	$-OH$ (спирты)	803,82
$>C_R<$ (HC)	98,67	$-OH$ (фенол)	806,21
$>CH-$ (HC)	418,55	$>N-$	153,69
$>C_R H-$ (HC)	313,87	$>NH$	354,79
$>CH_2$ (HC)	191,61	$>N_R H$	325,82
$-C_R H_2-$ (HC)	122,22	$-NH_2$	362,58
$-CH_3$ (HC)	-59,62	$-N=$	196,10
$>CH-$	119,79	$-N_R=$	243,93
$>C_R H-$	201,98	$>N_R-$	369,80
$>CH_2$	162,43	$-N-C_a$	797,35
$-C_R H_2-$	149,72	$-CN$	640,67
$-CH_3$	77,80	$-NC=O$	1193,67
$=C<$	194,11	$O=C=N-C_a$	697,80
$=C_R<$	236,45	$NO_2-C-$	898,17
$=C=$	-239,01	$-NO_2$	525,91
$=CH-$	148,59	$-S-$	405,65
$=C_R H-$	163,28	$-S_R-$	221,89
$=CH_2$	37,56	$-SH$	469,16
$C_R-C_R=$	-59,24	$-Br$	386,51
$>C<$	108,68	$-Cl$	251,85
$>C_R<$	130,20	$-F$	-55,41
$>C=O$	494,20	$-I$	622,38
$>C_R=O$	551,77	$-Si-$	89,55
$O=CH-$ (альдегид)	437,19	$-O-(Si)$	96,01

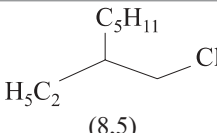
Примечание. HC указывает на связь группы только с углеводородом.  $C_a$  обозначает ароматическое соединение, индекс  $R$  — любой цикл.

Из табл. 4 видно, что МУЦ в варианте расчета по формулам (2) и (3) дает наилучшие результаты. В расчетах по “ручному” варианту, а также с помощью уравнений (3) и (4) он уступает уточненному урав-

Таблица 3. Результаты прогнозирования температуры вспышки

Хлоралкан (УУЦ)	Значение $T_{всп}$ , К										
	Экспе- римент	Прогноз									
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	ACDLabs	TEST*	МУЦ (ручн.)
$\text{CH}_3\text{Cl}$ (1)	207	200	200	202	208	202	202	206	187	260 216	–
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ (2)	223	223	223	221	223	223	226	233	216	253 237	225
$\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}$ (3)	241	244	244	243	241	243	248	255	241	257 252	241
$\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$ (4)	256 261	265	264	264	261	263	270	275	266	288 263	262
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$ (5)	286 285	283	282	284	281	281	290	292	284	290 284	280
$\text{C}_6\text{H}_{13}\text{Cl}$ (6)	300 301	300	300	302	300	298	307	309	300	306 300	300
$\text{C}_7\text{H}_{15}\text{Cl}$ (7)	315 311	315	316	318	318	314	323	325	315	318 317	317
$\text{C}_8\text{H}_{17}\text{Cl}$ (8)	331 335 334	330	331	333	334	329	340	341	331	345 339	331
$\text{C}_9\text{H}_{19}\text{Cl}$ (9)	347 351	344	345	346	348	344	354	356	348	349 348	345
$\text{C}_{10}\text{H}_{21}\text{Cl}$ (10)	356	356	358	357	359	356	366	370	356	357 357	359
$\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{Cl}$ (11)	–	368	370	367	368	370	379	385	368	364 365	369
$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{Cl}$ (12)	377 386	379	380	376	375	382	391	399	378	381 373	384
$\text{C}_{13}\text{H}_{27}\text{Cl}$ (13)	–	390	390	386	382	394	403	413	387	385 380	388
$\text{C}_{14}\text{H}_{29}\text{Cl}$ (14)	395	401	398	396	390	407	415	427	396	394 390	392
$\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{Cl}$ (15)	–	410	405	407	399	417	424	440	404	403 401	402
$\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{Cl}$ (16)	409	418	410	419	411	428	433	454	411	416 408	418
$\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{Cl}$ (17)	–	427	415	434	429	438	442	467	418	423 445	433
 (2,5)	238	238	233	232	232	237	242	237	238	263 247	233
 (3)	250	248	244	243	241	246	252	244	291	266 281	241
 (3,5)	263 252 258	259	254	254	251	257	264	258	258	268 259	252

Хлоралкан (УУЦ)	Значение $T_{всп}$ , К												
	Экспе- римент	Прогноз									ACDLabs	TEST*	МУЦ (ручн.)
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)					
 (3,5)	256 254	259	254	254	251	257	264	287	294	271 258	252		
 (4)	276 263	269	264	264	261	267	275	264	276	278 272	262		
 (4)	264	269	264	264	261	267	275	292	264	281 269	262		
 (4)	264	268	264	264	261	266	274	288	279	276 272	262		
 (4,5)	283	278	273	274	271	275	284	304	283	283 279	271		
 (4,5)	274	275	273	274	271	273	282	276	283	283 282	271		
 (4,5)	283	277	273	274	271	274	283	276	283	285 282	271		
 (4,5)	–	278	273	274	271	276	285	304	283	286 282	271		
 (5)	280 292	289	282	284	281	286	296	323	292	294 292	280		
 (5,5)	298	296	291	293	291	293	303	320	298	300 299	290		
 (7,5)	–	324	324	326	326	322	333	326	325	322 313	324		
 (7,5)	333	324	324	326	326	323	333	351	325	321 319	324		

Хлоралкан (УУЦ)	Значение $T_{всп}$ , К												
	Эксперимент	Прогноз									ACDLabs	TEST*	МУЦ (ручн.)
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)					
 $C_5H_{11}$ $H_5C_2$ (8,5)	333	339	339	339	341	338	349	366	338	337 336	338		

Примечание. Курсивом выделены результаты расчета по методу Hierarchical method, обычным шрифтом — Consensus method.

Таблица 4. Сравнительный анализ методов прогнозирования

Метод	$D$		$D_{max}$ , К	$n$	Метод	$D$		$D_{max}$ , К	$n$
	%	К				%	К		
Уравнение (2)	1,25	3,55	9,8	27	TEST (Hierarchical method)	2,28	6,21	31,0	28
Уравнение (3)	1,27	3,74	10,2	28	Уравнение (7)	2,59	7,83	23,9	28
Уравнение (1)	1,35	4,19	9,3	27	ACDLabs 2014	2,78	7,67	41,0	28
Уравнение (5)	1,35	4,21	18,6	28	TEST (Consensus method)	4,64	12,13	53,0	28
Уравнение (4)	1,54	4,47	12,3	28	Уравнение (6)	5,17	15,96	44,6	28
МУЦ (“ручной” метод)	1,58	4,64	12,0	26					

нению Орманди–Крэвэна (1), но лучше (т. е. дает более точные результаты) подходов Роули, методики

ГОСТ 12.1.044–89\* и программ ACDLabs 2014 и TEST.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. ГОСТ 12.1.044–89\*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.1991. — Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2014. — № 1 (52).
3. Rowley J. Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — Brigham Young University, 2010. — 261 p.
4. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (дата обращения: 10.04.2015).
5. Chemical Database DIPPR 801 (Brigham Young University). URL: <http://www.aiche.org/dippr> (дата обращения: 21.04.2015).
6. 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.
7. 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.
8. Земский Г. Т. Физико-химические и огнеопасные свойства органических соединений. — М. : ВНИИПО, 2009. — Кн. 1. — 502 с.
9. Земский Г. Т. Физико-химические и огнеопасные свойства органических соединений. — М. : ВНИИПО, 2009. — Кн. 2. — 458 с.
10. Болотников М. Ф., Неручев Ю. А. Температуры плавления и кипения соединений в гомологических рядах моногалоген- $n$ -алканов // Журнал физической химии. — 2007. — Т. 81, № 8. — С. 1364–1369.



11. 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.

*Материал поступил в редакцию 17 июня 2015 г.*

**Для цитирования:** Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Спиридонов М. А., Дальков М. П., Мокроусова О. А., Акулов А. Ю. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XX. Хлоралканы (часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 27–33. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.27-33.

English

## CORRELATION OF FIRE HAZARD CHARACTERISTICS WITH CHEMICAL STRUCTURE. XX. CHLOROALKANES (Part 2)

**SMIRNOV V. V.**, 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 (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation; e-mail address: s\_vitaly2006@list.ru)

**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)

**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, Chief Researcher of the Research Group, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: sma@mtf.ustu.ru)

**DALKOV M. P.**, Doctor of Geographical Sciences, Professor of Tactics and Service Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: 1213874@rambler.ru)

**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; e-mail address: olgamokrousova@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; e-mail address: akulov-07@mail.ru)

### ABSTRACT

Flash point for a set of 34 compounds of the class of chloroalkanes was calculated by the rule of "carbon chain" (manual version and with five previously found equations:  $FP(^{\circ}C) = 0.63BP(^{\circ}C) - 57.53$ ;  $FP(K) = 24.03N_C - 0.59N_C^2 + 177$ ;  $FP(K) = 189 + 7.72\beta^{1.5} - 0.632\beta^{2.5} + 0.08\beta^3$ ;  $FP(K) = 198.5 + 64.99/C_s + 774.8/C_s^2 - 1093.01/C_s^3 + 443.29/C_s^4$ ;  $FP(K) = 3.7N_C + 0.492BP(K) + 75.63$ ). In the case of isomeric compounds, conditional carbon chain (CCC), pseudofactor  $\beta^* = CCC + (2CCC + N_{Cl})/4$ , pseudo-stoichiometric concentration  $C_s^*$  are substituted in formulas. A comparative analysis of prediction results by the method of "carbon chain" and other methods (Interstate Standard 12.1.044–89\*, Rowley, ACDLabs 2014 and TEST (version 4.1) software systems) is made. It is established that equations (2) and (3) give the best results (average absolute deviation of 1.25 and 1.27 % respectively).

**Keywords:** flash point; property; dependence; prediction; chloroalkane; fire hazard.

## REFERENCES

1. Batov D. V. Ispolzovaniye additivno-gruppovogo metoda dlya analiza, sistematizatsii i prognozirovaniya pokazateley pozharnoy 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.
2. Interstate Standard 12.1.044–89\*. Occupational Safety Standards System. Fire and Explosion Hazard of Substances and Materials. Nomenclature of Indices and Methods of their Determination. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989; IPK Izdatelstvo standartov, 1996, 2001. Available at: NSIS PB, 2012, no. 2 (48) (in Russian).
3. Rowley J. *Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy*. Brigham Young University, 2010. 261 p.
4. Sigma-Aldrich Database. Available at: <http://www.sigma-aldrich.com/catalog> (Accessed 10 April 2015).
5. Chemical Database DIPPR 801. Available at: <http://www.aiche.org/dippr> (Accessed 21 April 2015).
6. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosive hazard of compounds and materials, and their fire extinguishing means. Handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, vol. 1. 713 p.
7. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosive hazard of compounds and materials, and their fire extinguishing means. Handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, vol. 2. 774 p.
8. Zemskiy G. T. *Fiziko-khimicheskiye i ogneopasnyye svoystva organicheskikh soyedineniy* [Physical, chemical and fire hazard properties of organic compounds]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2009, vol. 1. 502 p.
9. Zemskiy G. T. *Fiziko-khimicheskiye i ogneopasnyye svoystva organicheskikh soyedineniy* [Physical, chemical and fire hazard properties of organic compounds]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2009, vol. 2. 458 p.
10. Bolotnikov M. F., Neruchev Yu. A. The melting and boiling points of compounds in homologous series of monohalogenated *n*-alkanes. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2007, vol. 81, no. 8, pp. 1198–1202. DOI: 10.1134/S0036024407080031.
11. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. IX. Khlorkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. IX. Chloroalkanes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 13–21.

**For citation:** Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Spiridonov M. A., Dalkov M. P., Mokrousova O. A., Akulov A. Yu. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniym. XX. Khlorkany (chast 2) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XX. Chloroalkanes (Part 2)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 27–33. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.27-33.

**М. П. ГРИГОРЬЕВА**, научный сотрудник Научно-образовательного комплекса организационно-управленческих проблем ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: margarita\_theone@mail.ru)

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

**Н. И. КОНСТАНТИНОВА**, д-р техн. наук, профессор, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: konstantinova\_n@inbox.ru)

УДК 614.8.083.7

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ДЫМООБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Рассмотрены вопросы совершенствования методологии исследования напольных покрытий на дымообразующую способность при пожаре. Дан краткий обзор требований основных российских и международных нормативных документов, регламентирующих методы испытания напольных покрытий на дымообразующую способность. Рассмотрены методы оценки дымообразования материалов напольных покрытий и проанализированы их классификационные показатели, используемые как в российской нормативной пожарно-технической практике, так и в зарубежной. Сформулированы выводы о необходимости совершенствования принципов и методов исследования материалов на дымообразующую способность.

**Ключевые слова:** пожароопасные свойства напольных покрытий; методы оценки дымообразующей способности; дымовыделение; оптическая плотность дыма; классификационные показатели дымообразования; тепловой поток.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.08.34-42

На сегодняшний день во всех видах зданий применяются разнообразные напольные покрытия, которые могут способствовать распространению пожара и образованию опасных факторов, воздействующих на жизнь и здоровье людей.

Одним из таких факторов является возникновение дыма в объеме помещения или здания, где случился пожар. Процесс задымления очень сложен и в настоящее время до конца не изучен, однако можно с уверенностью утверждать, что, помимо геометрии помещения и объемно-планировочных решений, он зависит от способности материала образовывать дымовую среду.

Издавна для полной и адекватной оценки пожароопасных свойств применяемых материалов ученые и специалисты разных стран мира разрабатывали методологию их исследования на пожарную опасность, основываясь на собственных научных подходах. Таким образом, на сегодняшний день для исследования дымообразующей способности напольных покрытий, применяемых в гражданском строительстве, существует более 10 различных методов [1–5], применяемых на территории России, Европы, Австралии, Японии и США, которые изложены в национальных, межгосударственных и международных стандартах.

При этом совершенствование методов оценки дымообразующей способности материалов являет-

ся неотъемлемой частью общей системы обеспечения пожарной безопасности в каждой стране. Стандарты большинства стран пересматриваются и актуализируются в среднем в течение двух лет или ежегодно.

В России стандартизированным методом определения дымообразующей способности материалов, в том числе напольных покрытий, является ГОСТ 12.1.044–89\*, который не подвергался актуализации с момента введения в действие, т. е. с 1990 г.

Исходя из вышеизложенного, представляется целесообразным:

- провести сравнительный анализ стандартных методов испытаний материалов напольных покрытий на дымообразующую способность, принятых в России и других странах;
- рассмотреть физико-химические особенности процесса дымообразования в условиях пожара применительно к напольным покрытиям;
- обосновать необходимость совершенствования существующего метода оценки дымообразующей способности напольных покрытий с учетом особенностей физических процессов развития пожара.

В нормативной системе оценки пожарной опасности материалов в России и за рубежом применяются методы, в которых дымообразующая способность напольных покрытий определяется исходя из

закона рассеяния света, а также условий возможно применения материала, его ориентации в пространстве помещения и воздействия теплового потока при пожаре от ограждающих конструкций и самого очага возгорания.

В качестве классификационных параметров дымообразующей способности напольных покрытий в основном применяют характеристики, основанные на оптических свойствах образующейся дымовой среды, однако единого подхода в международной системе оценки данного параметра в настоящее время нет. В каждой стране используют различные методы исследования дымообразования материалов [6–7], при этом результаты лабораторных испытаний часто носят лишь сравнительный характер [8].

В табл. 1 приведены данные по показателям нормативной оценки дымообразующей способности напольных покрытий, применяемых в зданиях с массовым пребыванием людей, на примере России, США, Австрии, Германии, Австралии и Японии. Следует отметить многообразие методов, применяемых на практике для классификации материалов в каждой стране, и их количество. Интересен также факт, что в основном интерпретация результатов испытаний есть построение кривой “ослабление света – время” и математическая обработка динамических характеристик дымообразования (скорость дымовыделения, максимальное ослабление света), что имеет более прочную связь с практикой, т. е. с возможностью прогнозировать поведение материала покрытия при пожаре и определять время, необходимое для своевременной эвакуации людей.

В отечественной терминологии дым определяют как “аэродисперсную систему, состоящую из продуктов неполного сгорания, золы, окислов металлов, сажи и смолистых веществ, частицы которой находятся во взвешенном состоянии в газах” [9].

В американской терминологии в нормативных документах в области пожарной безопасности термин “дым” звучит как “переносимые по воздуху твердые или жидкие частицы, выделяющиеся при горении или термоокислительном разложении материала” (E 176). В работе [10] указывается, что дым — это “облако горячих газов над пламенем, состоящее из многих компонентов, которые можно объединить в три группы: горячие испарения и газы; несгоревшие продукты и сконденсированный материал; часть нагретого огнем воздуха, попавшего в облако”. В. Грин и Х. Лейн к “дымам” относят “разнообразную группу аэродисперсных систем, состоящих из частиц с малой упругостью пара и с малой скоростью седиментации под действием сил гравитации” [11].

Учитывая рассмотренные определения и работы авторов [1, 9–12], можно сделать вывод, что дым возникает в результате термоокислительных реак-

ций, протекающих в режимах термоокислительного разложения (тления) и пламенного горения, завершенного и незавершенного процесса окисления продуктов горения и протекания реакций свободных радикалов (стабилизация радикалов, конденсация, нуклеация).

При этом дымовая среда имеет неустойчивую структуру в течение периода ее образования и распространения, почти всегда происходит изменение размера и формы частиц дыма вследствие их седиментации и диффузии, а также возникновение в самой системе частиц отрицательных и положительных зарядов [2].

Фундаментальные принципы измерения дымообразующей способности связаны с нахождением зависимостей гравиметрических характеристик дымовых частиц и их светопропускающей способности. Исследования проводятся при мало-, средне- и крупномасштабных испытаниях.

Существует два основных направления в методологии исследования материалов на дымообразующую способность:

- 1) *статические* испытания, проводимые в условиях замкнутой системы, присущих лабораторным установкам;
- 2) *динамические* испытания, направленные на исследование характеристик дымовой среды во временных режимах.

Основным показателем дымообразующей способности материала является оптическая плотность дыма  $D$  (Нп/м) на единицу длины светового луча, проходящего через дымовую среду, которая характеризует уровень видимости в дыму.

Для определения оптической плотности дыма применяются различные способы: оптические (измерение ослабления коллимированного пучка света), механические (отделение жидких и твердых дымовых частиц от дымовых потоков) и электрические (создание электрических зарядов в объеме ионизационной камеры). Измерения оптической плотности дыма основываются на законе Бугера–Ламберта–Бэра об ослаблении монохроматического луча света при прохождении через поглощающую среду:

$$I/T = e^{kL}; \quad (1)$$

$$k = \frac{1}{L} \ln \frac{I}{T}, \quad (2)$$

где  $I$  — начальное светопропускание, %;

$T$  — конечное светопропускание, %;

$k$  — коэффициент ослабления света (в ЕС применяется термин “коэффициент экстинкции”);

$L$  — длина оптического луча, проходящего через дым, м.

Некоторые методы испытаний напольных покрытий, принятые в международной практике, основаны

Таблица 1. Показатели оценки дымообразующей способности материалов напольных покрытий в различных странах

Государство	Нормативный документ	Классификационный показатель	Примечание
Россия	ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (п. 4.18)	Коэффициент дымообразования, м <sup>2</sup> /кг	Рассчитывается как оптическая плотность дыма, приведенная к начальной массе образца, геометрическим размерам камеры измерений, начальной и конечной величинам ослабления пучка света в дымовой среде, длине оптического луча
Соединенные Штаты Америки	ASTM-D-2843–99. Density of Smoke from the Burning or Decomposition of Plastics	Скорость дымовыделения ( <i>smoke density rating</i> ), м·мин	Среднее значение ослабления светопропускания по результатам трех испытаний рассматривается как функция времени; скорость дымовыделения рассчитывается как интегральная величина
	ASTM-E 84-00a [NFPA 255, UL 273]. Surface Burning Characteristics of Building Materials	Индекс дымообразования ( <i>smoke index</i> )	Оптическая плотность дыма определяется при помощи построения кривой “ослабление света – время”; площадь полученной под кривой фигуры умножается на 100 и округляется до значения, кратного 5
	ASTM-E 662–97 [NFPA 258]. Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials (дополнительный метод)	Специальная величина оптической плотности дыма	Рассчитывается как оптическая плотность дыма, приведенная к длине оптического луча, площади образца и объему камеры
Австрия	ONORM B 3800-1. Behavior of building materials and components in fire — Building materials — Requirements and tests (VORNORM 1988-12–01)	Максимальная абсорбция света ( <i>maximum light absorption</i> ), %	Среднее значение ослабления светопропускания по результатам трех испытаний рассматривается как функция времени; максимальное значение поглощения света дымовой средой является пиком кривой
Германия	DIN 4102-1. Fire behavior of building materials and building components. Building materials, terminology, requirements and tests	Дымовыделение за период испытания, %·мин	Среднее значение ослабления светопропускания по результатам трех испытаний рассматривается как функция времени; скорость дымовыделения рассчитывается как интегральная величина
	DIN 4102-14. Fire behavior of building materials and building components. Determination of burning behavior of floor covering systems using a radiant heat source	Максимальное ослабление света, %·мин	
	DIN EN ISO 9239-1:2010-11. Reaction to fire tests for floorings — Part 1: Determination of the burning behaviour using a radiant heat source	Максимальное ослабление света, %·мин	
Австралия	AS/NZS 1530.3:1999. Methods for fire tests on building materials, components and structures — Simultaneous determination of ignitability, flame propagation, heat release and smoke release	Индекс дымовыделения ( <i>smoke developed index</i> )	Максимальная оптическая плотность дыма рассчитывается исходя из длины луча света, проходящего через среду дыма, средней величины ослабления света за любую минуту испытаний. Среднее значение посчитанных таким образом величин является индексом дымовыделения
Япония	JIS K 7242-2–2008. Smoke generation — Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test	Безразмерная величина оптической плотности дыма	Рассчитывается как оптическая плотность дыма, приведенная к длине оптического луча, площади образца и объему камеры

ваются на статическом исследовании дымообразования.

Одним из них является метод определения оптической плотности дыма в закрытой камере *NBS*

*Smoke Chamber*, разработанный Национальным бюро стандартов (США). В некоторых странах данный метод стандартизирован и внедрен в систему оценки пожарной опасности материалов, в том числе

**Таблица 2.** Сравнительные характеристики российского и зарубежного статических методов определения дымообразования напольных покрытий

Сравнительная характеристика	NBS Smoke Chamber	ГОСТ 12.1.044–89* (п. 4.18)
Расположение образцов при испытании	Внутри испытательной камеры, вертикальная ориентация, параллельно радиационной панели	В камере сгорания установлены электронагревательная панель, держатель образца и газовая горелка; образец располагается под углом 45° к горизонтали, параллельно радиационной панели
Количество и размер образцов при испытании	6 образцов размером 76×76×25 мм каждый	10–15 образцов размером 40×40 мм каждый; толщина образцов фактическая, но не более 10 мм (для образцов пенопластов допускается до 15 мм)
Время экспозиции	До 20 мин	По достижении минимального значения светопропускания
Габаритные размеры испытательной камеры	Объем 0,51 м <sup>3</sup> , размер 914×610×914 мм	Камера сгорания объемом 3·10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup> ; камера измерений размером 800×800×800 мм
Устройство источника зажигания	Пропановая горелка, расположенная на расстоянии 6,4 мм от образца и выше его нижней части	Запальная газовая горелка, представляющая собой трубку из нержавеющей стали с внутренним диаметром 1,5–2,0 мм
Устройство фотометрической системы	Источник света (цветовая температура (2200±100) К, мощность (4±2) Вт); вертикальный луч света длиной 914 мм; приемник света (фотометр); фотоэлектронный умножитель	Источник света (гелий-неоновый лазер мощностью 2–5 мВт); приемник света (фотодиод); длина оптического луча 800 мм
Режимы испытаний	Режим термоокислительного разложения (тления) (плотность теплового потока 25 кВт/м <sup>2</sup> ).  Режим пламенного горения (до 50 кВт/м <sup>2</sup> )	Режим тления (плотность теплового потока от 20 до 35 кВт/м <sup>2</sup> ): испытания начинают с плотности 35 кВт/м <sup>2</sup> ; при испытаниях образцы не должны самовоспламеняться. В случае самовоспламенения образца при последующих испытаниях плотность теплового потока уменьшают на 5 кВт/м <sup>2</sup> до тех пор, пока не прекратится самовоспламенение образца во время испытания.  Режим горения (при фиксированной плотности теплового потока 35 кВт/м <sup>2</sup> )
Оценка результатов испытания	Оптическая плотность дыма, приведенная к площади образца, с учетом геометрических характеристик камеры	Оптическая плотность дыма, приведенная к массе сгоревшего материала, с учетом геометрических характеристик камеры

напольных покрытий: IEC 60695-6-30, ISO 5659-2 (в Японии JIS K 7242-2), BS 6401, ASTM E-662, NFPA 258.

Испытания проводят в двух режимах — термоокислительного разложения (тления) и пламенного горения. По их результатам получают оптическую плотность дыма, приведенную к единице площади образца, с учетом геометрических характеристик камеры и начальной и конечной величин светопропускания.

Оптическая плотность дыма, приведенная к единице площади экспонируемого образца, рассчитывается по формуле

$$D_s = \frac{V}{AL} \ln \frac{100}{T}, \quad (3)$$

где  $V$  — объем камеры, м<sup>3</sup>;

$A$  — экспонируемая площадь образца, м<sup>2</sup>.

В России применяется похожий метод по ГОСТ 12.1.044–89\*, который сводится к вычислению коэффициента дымообразования — показателя, характеризующего оптическую плотность дыма, образующегося при пламенном горении или термоокислительном разложении (тлении) определенного количества твердого материала.

Основные отличия методов определения коэффициента дымообразования по ГОСТ 12.1.044–89\* и *NBS Smoke Chamber* приведены в табл. 2.

Метод определения коэффициента дымообразования, как известно, заключается в исследовании образца материала под воздействием теплового потока интенсивностью 35 кВт/м<sup>2</sup>, так как доказано, что большинство полимерных материалов имеет максимальное дымообразование при температурном режиме 400–500 °С. Установка состоит из камеры сгорания, в которой расположены электронагрева-

тельная панель, газовая горелка и держатель для образца и камеры измерений. В последней устроена оптическая система, через которую проходит аккумулирующийся дым.

Основные отличия методов NBS и ГОСТ 12.1.044–89\* заключаются в способе размещения образца (вертикальная и горизонтальная ориентация) и в требованиях к тепловому воздействию на образец (ГОСТ 12.1.044–89\* устанавливает неизменную величину плотности теплового потока в режиме пламенного горения  $35 \text{ кВт/м}^2$ ). По-видимому, вертикальная ориентация образцов принимается исходя из наиболее опасного сценария развития пожара — быстрого распространения пламени по поверхности материала. Однако такой вариант едва ли отражает реальные процессы, происходящие при пожаре в зоне нахождения напольных покрытий.

Динамические методы измерения характеристик дымообразования материалов в некоторых странах принимаются как необязательные, для целей исследования поведения материала при горении и установления дополнительных характеристик. Оптическая плотность дыма измеряется в вытяжной трубе с помощью встроенной оптической системы.

Один из подобных методов изложен в стандартах DIN 4102-16, DIN 4102-15 "*Brandschacht*". Устройство для исследования дымовой среды располагается на расстоянии 100 мм от термопар для определения температуры дымовых газов в камере. Прибор состоит из источника света, образующего пучок света (длина горизонтального оптического луча 500 мм), проходящий через верхнюю часть камеры. Оптическая плотность дыма, регистрируемая с помощью данного метода, является классификационным параметром и входит в перечень характеристик для дополнительных специальных наблюдений за поведением материала при горении и указывается в сертификатах пожарной безопасности и технических отчетах при исследовании материалов на пожарную опасность.

Известный метод конического калориметра ISO 5660-2, в котором также возможны динамические измерения дымообразующей способности, на сегодняшний день применяется так же, как стандарт добровольного применения. Метод заключается в определении характеристик дымообразования в выпускной трубе калориметра посредством прохождения дыма через лазерную оптическую систему.

К динамическим методам можно также отнести метод исследования напольных покрытий на дымообразующую способность согласно стандарту EN ISO 9239-1:2010 (Метод определения пожарной опасности напольных покрытий путем воздействия теплового потока радиационной панели), который подразумевает определение двух основных характери-

стик пожарной опасности напольных покрытий — способности распространять пламя по поверхности и образовывать дым. Российский ГОСТ 51032–97 (Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени) имеет аутентичные разделы. В России данный стандарт послужил основой для разработки идентичного нормативного документа ГОСТ Р ИСО 9239-1–2014 (Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность. Метод определения пожарной опасности напольных покрытий путем воздействия теплового потока радиационной панели), который введен в действие с 1 октября 2014 г.

Испытательный прибор состоит из камеры размером  $1400 \times 725 \times 500$  мм, газовой радиационной панели с поверхностью излучения размером  $300 \times 450$  мм, газовой горелки, пламя которой воздействует на образец на расстоянии 10 мм от ближнего края к радиационной панели. В стандартном режиме испытаний тепловой поток представляет собой стандартизованное, убывающее в направлении от радиационной панели распределение плотности теплового потока на поверхности испытываемого образца. В выпускном патрубке установлена фотометрическая система со светоприемником для измерения светопропускающей способности. По результатам испытания определяется критическая плотность теплового потока, при которой прекращается распространение пламени по поверхности в течение 30 мин, фиксируется расстояние распространения фронта пламени и изменение плотности дыма во время испытания.

Несмотря на то что все способы исследования оптических свойств дыма и процесса дымообразования основаны на единой научной теории, методы испытаний могут значительно различаться по многим причинам:

- испытание материала может проходить в статических и динамических условиях; методы испытаний в статических условиях демонстрируют поведение материала в закрытом или беспроемом помещении, в динамических условиях учитывается возможность движения дымовой среды под воздействием различных факторов (свободный газообмен в помещении, дымоудаление, распространение дыма по эвакуационным путям);
- длина оптического луча, проходящего через слои дыма, варьируется от 0,3 до 0,9 м в различных испытательных приборах; оптическая система может располагаться как вертикально, так и горизонтально, хотя горизонтальное расположение присуще больше динамическим исследованиям. Подобное устройство фотометрической системы имеет место и в статических испытани-

ях, но при этом есть опасность возникновения дымовых слоев различной оптической плотности, вследствие чего результаты измерений могут быть искажены (*XP2 Smoke Density Chamber, ISO Dual Chamber Box*); во избежание возникновения стратификации дымовой среды осуществляется контроль за циркуляцией воздуха в камере измерений;

- расположение, ориентация и стандартизированные размеры образца материала приняты для каждой установки в соответствии с условиями испытаний;
- тепловое воздействие на образец может оказывать падающий тепловой поток, излучаемый радиационной панелью, и источник зажигания в виде газовой горелки, имеющей соответствующее расположение и устройство; испытания проводят в режимах термоокислительного разложения (тления) и пламенного горения;
- результаты испытаний сводятся к определению различных классификационных показателей и характеристик дымообразования материала: максимальной оптической плотности дыма (Нп/м); конечного светопропускания (%); максимального ослабления света (% · мин); оптической плотности дыма, приведенной к массе ( $\text{м}^2/\text{кг}$ ) и единице площади образца материала ( $\text{м}^2/\text{м}^2$ ); максимальной удельной скорости дымообразования ( $\text{м}^2/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ ).

В результате аналитических исследований, которые в настоящее время проходят практическую апробацию, можно сформулировать доводы, обуславливающие необходимость совершенствования метода оценки дымообразующей способности по ГОСТ 12.1.044–89\*:

- 1) метод определения дымообразования материалов (по ГОСТ 12.1.004–89\*) не позволяет исследовать одновременно динамику изменения образования дымовой среды и потерю массы образца во время испытания, что крайне необходимо для оценки параметров реального пожара [13];
- 2) общеизвестно, что в условиях пожара напольные покрытия находятся в зоне тепловых потоков относительно низкой плотности [14–15]. Это может означать, что стандартная критическая плотность теплового потока  $35 \text{ кВт}/\text{м}^2$  для определения реальной дымообразующей способности завышена;
- 3) отсутствие возможности контроля за динамикой дымовыделения, определения скорости дымовыделения и распространения дыма в объеме помещений и зданий препятствует нахождению связи получаемых результатов

со временем потери видимости в задымленной среде;

- 4) затруднительно применять результаты испытаний при моделировании опасных факторов пожара и расчете необходимого времени эвакуации, так как результаты испытаний достоверны при моделировании пожара на малых объемах, в случае заполнения помещения дымом полностью. При моделировании же пожароопасных ситуаций на реальных объектах погрешность может быть слишком высока. Необходимо учитывать основные условия и процессы, происходящие при задымлении помещения (газообмен, проемность, объемно-планировочные решения, стратификацию дымовой среды);
- 5) оценка дымообразующей способности напольных покрытий производится в условиях, соответствующих конечной стадии пожара, однако наибольший интерес представляет начальная стадия пожара по причине необходимости обеспечения безопасной и своевременной эвакуации до наступления времени блокирования выходов опасными факторами пожара.

Таким образом, для повышения объективности оценки дымообразующей способности напольных покрытий и получения исходных данных для моделирования пожара необходим учет динамических характеристик образования дымовой среды, что и обусловило принятие национального стандарта ГОСТ Р ИСО 9239-1–2014, идентичного европейскому EN ISO 9239-1:2010.

На сегодняшний день указанный стандарт может быть применен как *альтернативный* метод испытаний напольных покрытий на дымообразующую способность с момента включения его в перечень национальных стандартов, обеспечивающих выполнение требований Федерального закона № 123-ФЗ от 22.07.2008 г. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

## Выводы

1. Проведен сравнительный анализ методов оценки дымообразующей способности напольных покрытий в России и других странах; сделаны выводы об основных принципах методологии исследования дымообразования; выявлены основные отличия российского метода по ГОСТ 12.1.044–89\* от метода *NBS Smoke Chamber*, принятого в США, Японии, Великобритании и некоторых других странах (ориентация образца; критическая плотность теплового потока, воздействующего на образец; особенности устройства газовой горелки).



2. Выявлено, что исследования дымообразования напольных покрытий приводят к результатам, справедливым лишь для условий, в которых проводится испытание. Опасность возникновения дыма следует рассматривать комплексно — по результатам оценки параметров, полученных как при статических, так и динамических измерениях, для последующего прогнозирования возможного задымления путей эвакуации.

3. Отмечены предпосылки для совершенствования российского метода оценки дымообразования, основным недостатком которого является отсутствие возможности проводить работы исследовательского характера, контролировать динамику дымообразования, определять скорость дымовыделения, что затрудняет применение полученных результатов для прогнозирования поведения материала покрытия в реальных условиях пожара.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Корольченко А. Я., Трушкин Д. В.* Пожарная опасность строительных материалов. — М. : Пожнаука, 2005. — 232 с.
2. *Troitzsch J.* Plastics Flammability Handbook. Principles, Regulations, Testing, and Approval. — 3<sup>rd</sup> ed. — Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2004. — 774 p. DOI: 10.3139/9783446436695.
3. *Трушкин Д. В.* Проблемы классификации строительных материалов по пожарной опасности. Часть 2. Сравнительный анализ экспериментальных методов по оценке пожарной опасности строительных материалов, принятых в России и странах Евросоюза. Определение воспламеняемости, дымообразующей способности, способности к распространению пламени по поверхности и токсичности продуктов сгорания строительных материалов // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 31–37.
4. *Graham S. Cowles.* Review of the Fire Performance of Floor Coverings // 6<sup>th</sup> International Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, USA, February 22–23, 1999. — Conference paper No. 67 (1999).
5. *Östman B. A.-L., Mikkola E.* European fire tests for floorings // Proceedings of Interflam'96. — 1996. — P. 819.
6. *Еремина Т. Ю., Григорьева М. П.* Гармонизация российских и европейских систем нормативных документов в области пожарной безопасности строительных материалов // Пожарная безопасность. — 2013. — № 1. — С. 93–98.
7. *Еремина Т. Ю., Константинова Н. И., Григорьева М. П.* Методология оценки характеристик пожарной опасности напольных покрытий в России и странах ЕС // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. — 2014. — № 5. — С. 33–37.
8. *Johansson P., Axelsson J., Hertzberg T.* The influence of floor materials in room fires // Fire Technology, SP Report 2007:29. — Sweden, Borås : SP Technical Research Institute, 2007.
9. *Турков А. С.* Безопасность людей при пожарах. Становление системно-вероятностной концепции и методологии. — М. : ФГБУ ВНИИПО, 2012. — С. 22–31.
10. *Баратов А. Н., Андрианов Р. А., Корольченко А. Я., Михайлов Д. С., Ушков В. А., Филлин Л. Г.* Пожарная опасность строительных материалов. — М. : Стройиздат, 1988. — 388 с.
11. *Батчер Е., Парнэлл А.* Опасность дыма и дымозащита / Пер. с англ. — М. : Стройиздат, 1983. — 153 с.
12. *Грин Х., Лейн В.* Аэрозоли — пыли, дымы и туманы / Пер. с англ. — 2-е изд. стер. — М. : Химия, 1972. — 428 с.
13. *Трушкин Д. В.* Оценка пожарной опасности строительных материалов на основе анализа динамических характеристик. I. Оценка горючести и дымообразующей способности // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 6. — С. 32–37.
14. *Серков Б. Б.* Пожарная опасность полимерных материалов, снижение горючести и нормирование их пожаробезопасного применения в строительстве : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2001. — 49 с.
15. *Казиев М. М.* Обоснование предельно допустимой пожароопасности отделочных материалов для коридоров (на примере зданий гостиниц) : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ, 1988. — 160 с.

*Материал поступил в редакцию 8 апреля 2015 г.*

**Для цитирования:** *Григорьева М. П., Еремина Т. Ю., Константинова Н. И.* К вопросу об оценке дымообразующей способности напольных покрытий // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 34–42. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.34-42.

## ON THE ISSUE OF ASSESSMENT OF FLOOR COVERINGS SMOKE-FORMING ABILITY

**GRIGORYEVA M. P.**, Researcher of Educational Complex of Organizational and Managerial Problems in State Fire Service, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129301, Russian Federation; e-mail address: margarit\_theone@mail.ru)

**EREMINA T. Yu.**, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129301, Russian Federation; e-mail address: main@stopfire.ru)

**KONSTANTINOVA N. I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129301, Russian Federation; e-mail address: konstantinova\_n@inbox.ru)

### ABSTRACT

Widespread use, a variety of materials used as floor coverings, as well as a large number of test methods for assessment of smoke-forming ability adopted in each country separately, pose new challenges for improving the methodology for assessing the ability of flooring emit smoke during a fire. It should be noted that the main normative document in Russia containing requirements for the assessment of smoke-forming ability, did not receive a renovation for 24 years.

The primary purposes of the research are a comparative analysis of the currently existing methods of valuation of smoke generation flooring in different countries and detection of sufficient prerequisites for critical perception and possible improvement of Interstate Standard 12.1.044–89\* “Occupational safety standards system. Fire safety of substances and materials. The range of indicators and methods for their determination”.

We have selected the basic methods operating on the territory of Russia, Europe, USA, Japan and Australia for comparison. The conclusions of the analytical survey were summarized in the basic specialities and the subsequent analysis of the phenomenological picture of the process of research of floorings’ smoke-forming ability.

Special substance is in arguments, that stipulate improvement of the assessment of smoke-forming ability in accordance with Interstate Standard 12.1.004–89\* that reflect mainly inability to use the test results as input data for the simulation without corrective calculations, as well as monitoring of the dynamics of smoke and, as a consequence, determining the rate of smoke emission.

**Keywords:** fire behavior of floor coverings; evaluation methods smoke-forming ability; smoke emission; optical smoke density; classification performance of smoke generation; heat flux.

### REFERENCES

1. Korolchenko A. Ya., Trushkin D. V. *Pozharnaya opasnost stroitelnykh materialov* [Fire hazard of building materials]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2005. 232 p.
2. Troitzsch J. *Plastics Flammability Handbook. Principles, Regulations, Testing, and Approval*. 3<sup>rd</sup> ed. Munich, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2004. 774 p. DOI: 10.3139/9783446436695.
3. Trushkin D. V. Problemy klassifikatsii stroitelnykh materialov po pozharnoy opasnosti. Chast 2. Svravnitelnyy analiz eksperimentalnykh metodov po otsenke pozharnoy opasnosti stroitelnykh materialov, prinyatykh v Rossii i stranakh Evrosoyuza. Opredeleniye vosplamenyayemosti, dymobrazuyushchey sposobnosti, sposobnosti k rasprostraneniyu plameni po poverkhnosti i toksichnosti produktov sgoraniya stroitelnykh materialov [Problems of classification of construction materials for fire hazard. Part 2. Comparative analysis of experimental methods for fire hazard assessment of construction materials, accepted in Russia and the European Union countries. Determination of combustibility, flammability, flame spread, smoke production and toxicity of products of burning for construction materials]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 31–37.
4. Graham S. Cowles. Review of the Fire Performance of Floor Coverings. *6<sup>th</sup> International Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, USA, February 22–23, 1999. Conference paper No. 67(1999)*.
5. Östman B. A.-L., Mikkola E. European fire tests for floorings. In: *Proceedings of Interflam '96*, 1996, p. 819.

6. Eremina T. Yu., Grigoryeva M. P. Garmonizatsiya rossiyskikh i yevropeyskikh sistem normativnykh dokumentov v oblasti pozharnoy bezopasnosti stroitelnykh materialov [The harmonization of Russian and European systems of normative documents in the field of fire safety of building materials]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2013, no. 1, pp. 93–98.
7. Eremina T. Yu., Konstantinova N. I., Grigoryeva M. P. Metodologiya otsenki kharakteristik pozharnoy opasnosti napolnykh pokrytiy v Rossii i stranakh ES [The methodology of fire danger estimation of floor coverings in Russia and EU]. *Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka — Construction Materials, Equipment, Technologies of XXI Century*, 2014, no. 5, pp. 33–37.
8. Johansson P., Axelsson J., Hertzberg T. The influence of floor materials in room fires. *Fire Technology, SP Report 2007:29*. Sweden, Borås, SP Technical Research Institute, 2007.
9. Turkov A. S. *Bezopasnost lyudey pri pozharakh. Stanovleniye sistemno-veroyatnostnoy kontseptsii i metodologii* [The safety of people in fires. Formation of system-probabilistic concepts and methodology]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2012, pp. 22–31.
10. Baratov A. N., Andrianov R. A., Korolchenko A. Ya., Mikhaylov D. S., Ushkov V. A., Filin L. G. *Pozharnaya opasnost stroitelnykh materialov* [Fire hazard of building materials]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 388 p.
11. Butcher E. G., Parnell A. C. *Smoke control in fire safety design*. London, E. & F. N. Spon, 1979. 178 p. (Russ. ed.: Batcher E., Parnell A. *Opasnost dyma i dymozashchita*. Moscow, Stroyizdat, 1983. 153 p.).
12. Green H. L., Lane W. R. *Particulate clouds: dusts, smokes and mists*. 2<sup>nd</sup> ed. London, Spon Ltd., 1964. 471 p. (Russ. ed.: Grin Kh., Leyn V. *Aerozoli — pyli, dymy i tumany*. Moscow, Khimiya Publ., 1972. 428 p.).
13. Trushkin D. V. Otsenka pozharnoy opasnosti stroitelnykh materialov na osnove analiza dinamicheskikh kharakteristik. I. Otsenka goryuchesti i dymoobrazuyushchey sposobnosti [Fire danger estimation of building materials based on analysis of dynamic characteristics. I. Estimation of combustibility and smoke production]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2002, vol. 11, no. 6, pp. 32–37.
14. Serkov B. B. *Pozharnaya opasnost polimernykh materialov, snizheniye goryuchesti i normirovaniye ikh pozharobezopasnogo primeneniya v stroitelstve: avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk* [Fire danger of polymer materials, reduced flammability and rationing of fireproof construction applications. Abstr. dr. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2001. 49 p.
15. Kaziev M. M. *Obosnovaniye predelno dopustimoy pozharoopasnosti otdelochnykh materialov dlya koridorov (na primere zdaniy gostinits): dis. kand. tekhn. nauk* [Justification of the maximum permissible fire finishing materials for corridors (by way of example, building hotels). Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, High Engineering Fire Technical School Publ., 1988. 160 p.

**For citation:** Grigoryeva M. P., Eremina T. Yu., Konstantinova N. I. K voprosu ob otsenke dymoobra-zuyushchey sposobnosti napolnykh pokrytiy [On the issue of assessment of floor coverings smoke-forming ability]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 34–42. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.34-42.

**А. В. СТАРОДУБЦЕВ**, аспирант кафедры технологии переработки пластмасс, Уральский государственный лесотехнический университет (Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 35; e-mail: Emoruragok@mail.ru)

**В. М. БАЛАКИН**, канд. хим. наук, доцент, профессор кафедры технологии переработки пластмасс, Уральский государственный лесотехнический университет (Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 35; e-mail: balakin\_v.m@mail.ru)

**Е. Ю. ПОЛИЩУК**, канд. техн. наук, начальник кафедры расследования пожаров, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: epyur@ya.ru)

УДК 547.586.72

## ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ДЕСТРУКЦИИ СЛОЖНЫХ АЛИФАТИЧЕСКИХ ПОЛИЭФИРОВ МОНОЭТАНОЛАМИНОМ

Описаны получение и свойства азотфосфорсодержащих огнезащитных составов для древесины на основе продуктов аминолитизации моноэтанолламином сложных алифатических полиэфиров П-6 и П-9а. Установлено, что при деструкции полиэфиров П-6 и П-9а моноэтанолламином протекает процесс аминолитизации с образованием диамида адипиновой кислоты и гликолей. Фосфорилированием продуктов аминолитизации с последующей нейтрализацией аммиаком получены огнезащитные составы для древесины. Предварительная оценка показала высокую эффективность данных огнезащитных составов.

**Ключевые слова:** деструкция; алифатические полиэфиры; аминолитизация; фосфорилирование; огнезащитный состав для древесины.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.08.43-48

В настоящий момент древесина используется во многих отраслях промышленности и хозяйства — в строительстве, для изготовления мебели и в других целях. Ценность древесины не снижается, несмотря на большой ассортимент синтетических материалов. Это можно объяснить наличием таких ценных свойств древесины, как относительно высокая прочность, небольшая плотность, малая теплопроводность. Однако древесина — горючий материал, что делает ее применение ограниченным и небезопасным [1, 2], поэтому необходима ее огнезащита.

Огнезащита деревянных конструкций достигается использованием огнезащитных составов (ОЗС), замедляющих горение.

Ранее на кафедре технологии переработки пластических масс Уральского государственного лесотехнического университета были разработаны рецептуры получения ОЗС для древесины на основе продуктов деструкции полиэтилентерефталата этаноламином и изучено влияние этих составов на горючесть древесины [3–6].

Целью данной работы является получение и изучение свойств и огнезащитной эффективности ОЗС для древесины на основе продуктов деструкции моноэтанолламином сложных алифатических полиэфиро-

ров П-6 (полиэтиленгликольадипинат) и П-9а (полидиэтиленгликольадипинат).

Деструкция полиэфиров П-6 и П-9а моноэтанолламином проводилась при 160 °С в течение 1–1,5 ч в трехгорловой колбе, снабженной перемешивающим устройством, термометром и обратным холодильником. В результате деструкции образовались вязкие однородные продукты коричневого цвета. Путем осаждения с использованием метанола из продуктов деструкции было выделено вещество белого цвета, которое после фильтрации и промывки до pH = 6–7 проанализировали методом ИК-спектроскопии (рис. 1).

Анализируя ИК-спектры веществ, выделенных из продуктов деструкции полиэфиров П-6 и П-9а моноэтанолламином (см. рис. 1), можно отметить наличие полос в области 1644 и 1640 см<sup>-1</sup>, соответствующих валентным колебаниям амидной группы, а также полос в области 1054; 1066 и 2500–3300 см<sup>-1</sup>, соответствующих колебаниям ОН-групп [7, 8]. На основании ИК-спектроскопии можно предположить, что деструкция полиэфиров моноэтанолламином идет с образованием амидов адипиновой кислоты.

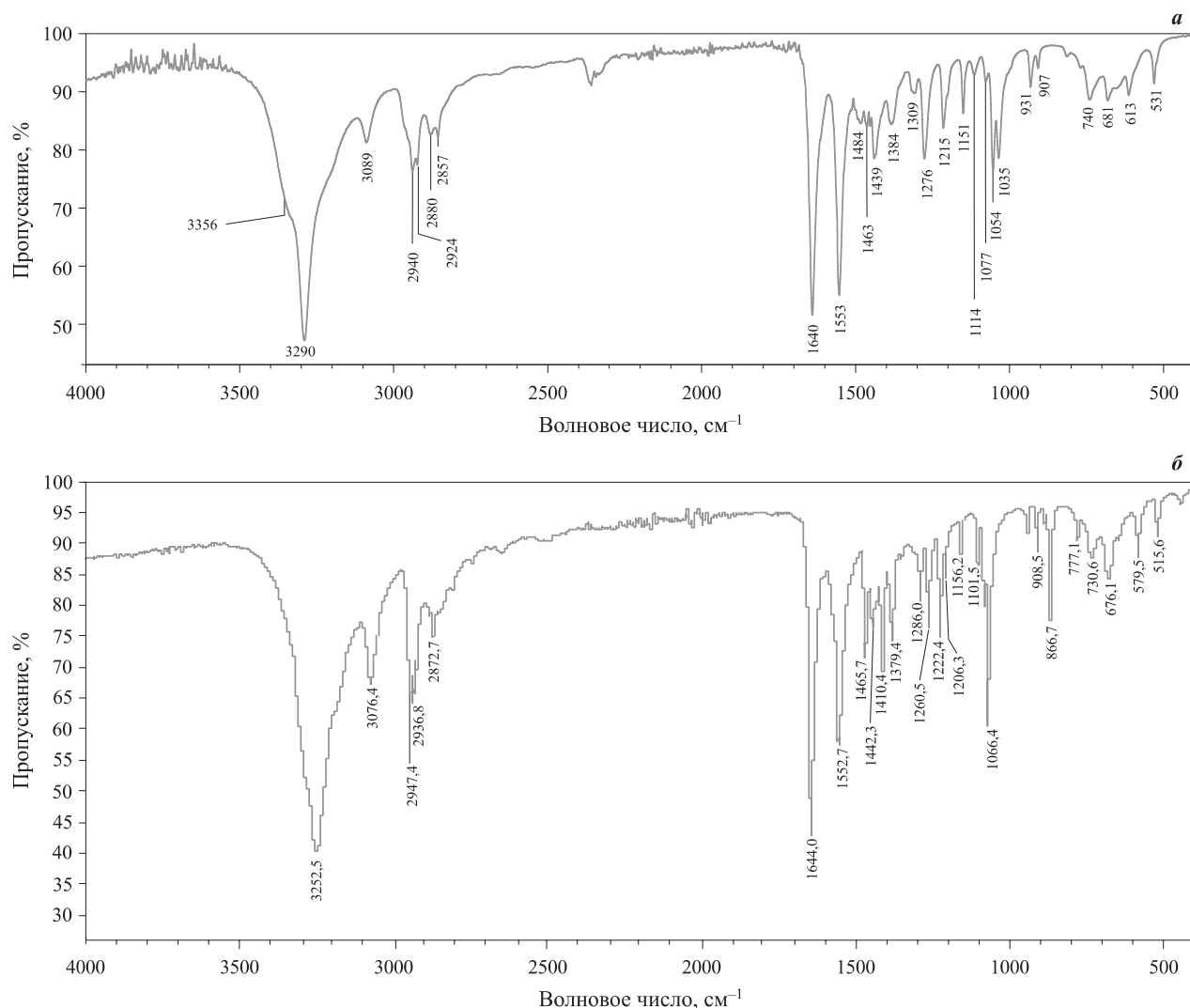


Рис. 1. ИК-спектр вещества, выделенного из продукта деструкции П-6 (а) и П-9а (б) моноэтаноламином

Была проанализирована также реакционная масса деструкции П-6 моноэтаноламином методом газожидкостной хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией (рис. 2). По данным хромато-масс-спектрометрии в продукте деструкции П-6 моноэтаноламином обнаружены этиленгликоль (10,623 мин), выделившийся в ходе реакции, и непрореагировавший моноэтаноламин (4,873 мин), а также продукт амидного типа (20,492 мин).

Маточник, полученный после выделения амида адипиновой кислоты из продукта деструкции полиэфира П-9а моноэтаноламином, был проанализирован методом газожидкостной хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией (рис. 3). По данным хромато-масс-спектрометрии в продукте деструкции П-9а обнаружены диэтиленгликоль (10,623 мин), выделившийся в ходе реакции, и избыток моноэтаноламина (4,873 мин).

На основании литературных данных [9–11] и результатов ИК-спектроскопии и газожидкостной хроматографии, совмещенной с масс-спектромет-

рией, можно заключить, что процесс деструкции полиэфиров П-6 и П-9а моноэтаноламином протекает по механизму аминолиза с образованием амида адипиновой кислоты и гликолей (рис. 4).

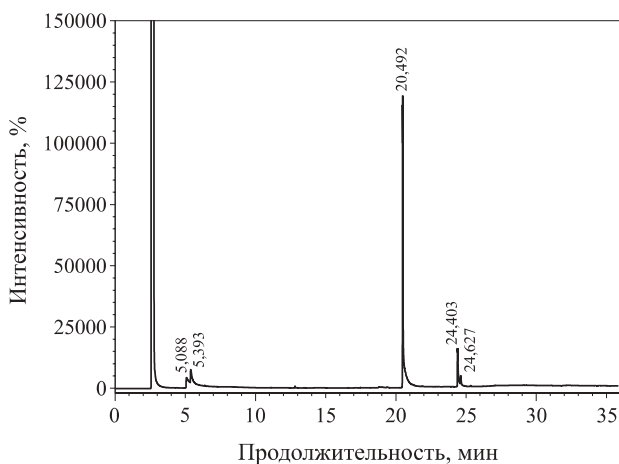


Рис. 2. Данные хромато-масс-спектрометрии продукта деструкции П-6 моноэтаноламином

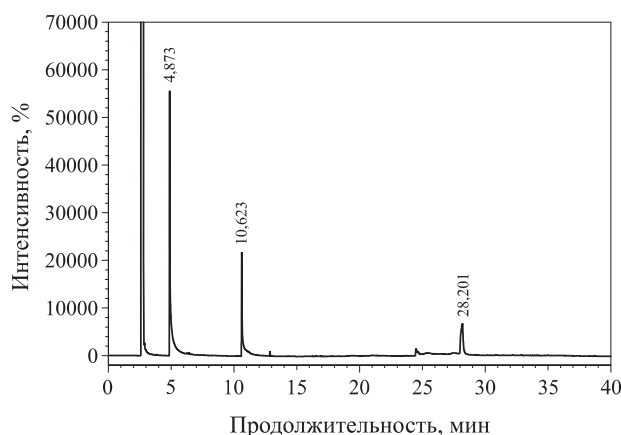


Рис. 3. Данные хромато-масс-спектрометрии продукта деструкции П-9а моноэтаноламином

Степень деструкции оценивалась также по изменению аминного числа (АЧ) в зависимости от продолжительности процесса (рис. 5).

Аминное число в процессе деструкции полиэфира П-6 моноэтаноламином понизилось в течение часа с 650 до 250, а полиэфира П-9а — с 480 до 280. Это косвенно подтверждает, что реакция деструкции полиэфира моноэтаноламином идет по механизму аминолитиза.

Для получения огнезащитных составов из продуктов аминолитиза полиэфира П-6 и П-9а реакционную массу, представляющую собой смесь избытка моноэтаноламина, амида адипиновой кислоты и гликолей, подвергали фосфорилированию (рис. 6) по методу Кабачника–Филдса [12] с последующей нейтрализацией ее аммиаком. Реакция фосфорилирования проводилась при температуре 90–100 °С в течение 2 ч при двукратном мольном избытке формальдегида и фосфористой кислоты относительно моноэтаноламина. В процессе фосфорилирования в кислой среде амид адипиновой кислоты гидролизует до моноэтаноламина и адипиновой кислоты. Таким образом, ОЗС представляют собой смесь гликолей, амонийных солей  $\alpha$ -аминометилфосфоновых кислот на основе моноэтаноламина и амонийных солей адипиновой кислоты. Краткая характеристика огнезащитных составов приведена в таблице.

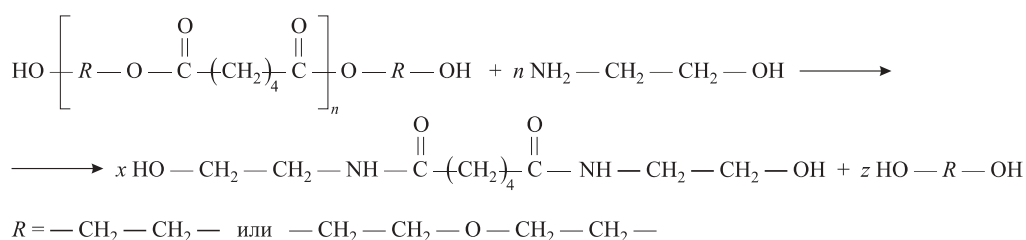


Рис. 4. Химизм процесса деструкции полиэфира П-6 и П-9а моноэтаноламином:  $n$  — число группировок, входящих в полимерную цепь;  $x$  — число полученных молекул диамида адипиновой кислоты;  $z$  — число полученных молекул гликоля, входящего в полимерную цепь

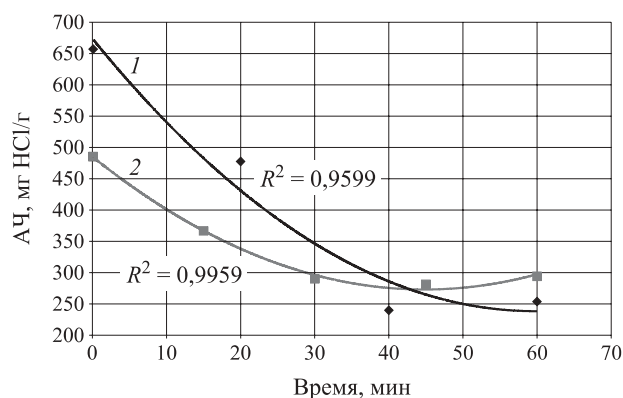


Рис. 5. Зависимость изменения АЧ от продолжительности деструкции полиэфира П-6 (1) и П-9а (2) моноэтаноламином

Физико-химические свойства огнезащитных составов на основе продуктов аминолитиза полиэфира П-6 и П-9а моноэтаноламином

Полиэфир	Внешний вид ОЗС	Массовая доля сухого остатка, %	Плотность, г/м <sup>3</sup>	Вязкость по ВЗ-4, с	pH
П-6	Жидкость коричневого цвета	46,7	1,2	12	7
П-9а	То же	44,9	1,19	11	7

Для первичной оценки огнезащитной эффективности ОЗС применялся метод «огневой трубы». При этом определялась потеря массы образцов сосны размером 100×35×5 мм в зависимости от расхода огнезащитного покрытия. Результаты испытаний приведены на рис. 7.

Как видно из рис. 7, ОЗС на основе продуктов деструкции полиэфира П-6 и П-9а моноэтаноламином, обладают огнезащитными свойствами. При их расходе 250–320 г/м<sup>2</sup> потеря массы составляет менее 20 %.

Для предварительного определения группы огнезащитной эффективности ОЗС в процессе их разработки применялся метод испытаний с использованием установки типа ОТМ. Испытывали образцы древесины сосны размером 150×60×30 мм. Результаты испытаний приведены на рис. 8. Из рисунка

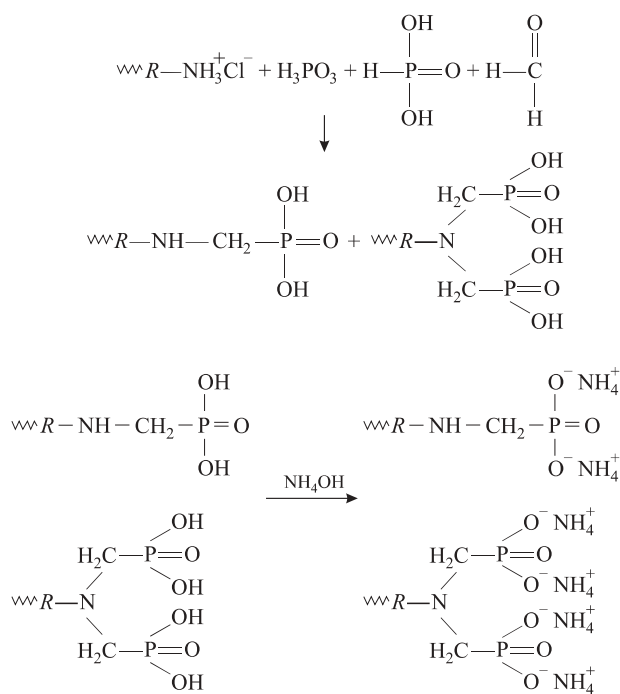


Рис. 6. Схема получения огнезащитного состава

видно, что данные ОЗС обладают высокими огнезащитными свойствами.

Таким образом, было установлено, что деструкция полиэфиров П-6 и П-9а моноэтаноламином идет по механизму аминолита с образованием диамида адипиновой кислоты и гликоля, входящего в полимерную цепь. В результате фосфорилирования продуктов аминолита полиэфиров П-6 и П-9а моноэтаноламином были получены азотфосфорсодержащие ОЗС для древесины, обладающие высокой огнезащитной эффективностью. В дальнейшем планируются

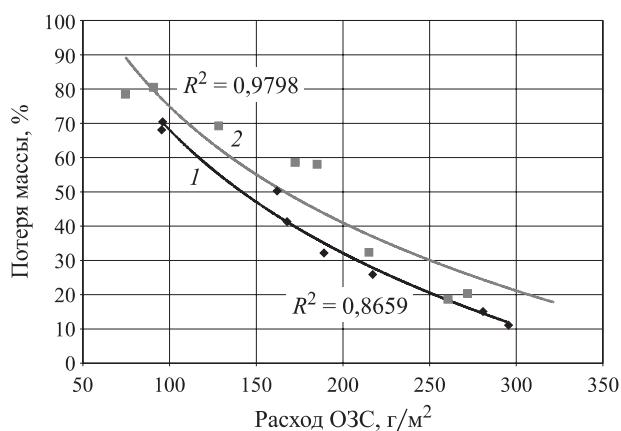


Рис. 7. Зависимость потери массы образцов древесины размером 100×35×5 мм от расхода ОЗС на основе продуктов деструкции П6 (1) и П9а (2) моноэтаноламином

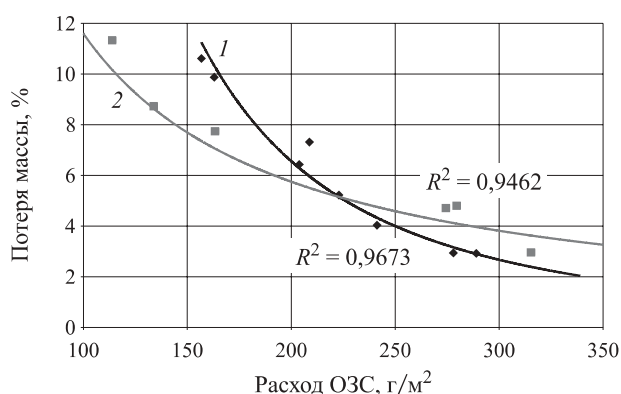


Рис. 8. Зависимость потери массы образцов древесины размером 150×60×30 мм от расхода ОЗС на основе продуктов деструкции П6 (1) и П9а (2) моноэтаноламином

есть испытание полученных ОЗС согласно ГОСТ Р 53292–2009 [13].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асеева Р. М., Заиков Г. Е. Горение полимерных материалов. — М. : Наука, 1981. — 280 с.
2. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — 216 с.
3. Балакин В. М., Стародубцев А. В., Красильникова М. А., Киселева А. П. Огнезащитные составы для древесины на основе продуктов аминолита полиэтилентерефталата моноэтаноламином // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 26–30.
4. Балакин В. М., Стародубцев А. В., Кычанов В. Е., Красильникова М. А. Азотфосфорсодержащие антипирены на основе продуктов деструкции полиэтилентерефталата этаноламинами // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2013. — № 8. — С. 41–49.
5. Стародубцев А. В., Балакин В. М., Кычанов В. Е., Красильникова М. А. Структура и свойства продуктов деструкции полиэтилентерефталата с диэтаноламином и триэтаноламином // Пластические массы. — 2013. — № 6. — С. 3–5.
6. Балакин В. М., Красильникова М. А., Стародубцев А. В., Киселева А. П. Получение и свойства огнезащитных составов на основе продуктов аминолита полиэтилентерефталата // Полимерные материалы пониженной горючести : труды 6-й Международной конференции. — Вологда, 2011. — С. 125–126.
7. Кутцов А. Х., Жижин Г. Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров. — М. : Физматлит, 2001. — 581 с.
8. Тарасевич Б. Н. ИК-спектры основных классов органических соединений : справочные материалы. — М. : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2012. — 54 с.

9. *Atta A. M., Abdel-Rauf M. E., Maysour N. E., Abdul-Raheim A. M., Abdel-Azim A. A.* Surfactants from recycled poly(ethylene terephthalate) waste as water based oil spill dispersants // *Journal of Polymer Research*. — 2006. — Vol. 13, No. 1. — P. 39–52. DOI: 10.1007/s10965-005-9003-0.
10. *Migahed M. A., Abdul-Raheim A. M., Atta A. M., Brostow W.* Synthesis and evaluation of a new water soluble corrosion inhibitor from recycled poly(ethylene terephthalate) // *Materials Chemistry and Physics*. — 2010. — Vol. 121, No. 1-2. — P. 208–214. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2010.01.018.
11. *Tawfik M. E., Ahmed N. M., Eskander S. B.* Aminolysis of poly(ethylene terephthalate) wastes based on sunlight and utilization of the end product [bis(2-hydroxyethylene) terephthalamide] as an ingredient in the anticorrosive paints for the protection of steel structures // *Journal of Applied Polymer Science*. — 2011. — Vol. 120, No. 5. — P. 2842–2855. DOI: 10.1002/app.33350.
12. *Черкасов Р. А., Галкин В. И.* Реакция Кабачника–Филдса: синтетический потенциал и проблема механизма // *Успехи химии*. — 1998. — Т. 67, № 10. — С. 940–968.
13. ГОСТ Р 53292–2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. — Введ. 01.01.2010. — М.: Стандартинформ, 2009. — 17 с.

*Материал поступил в редакцию 16 марта 2015 г.*

**Для цитирования:** Стародубцев А. В., Балакин В. М., Полищук Е. Ю. Огнезащитные составы для древесины на основе продуктов деструкции сложных алифатических полиэфиров моноэтаноломином // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 43–48. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.43-48.

English

## FLAME RETARDANTS FOR WOOD-BASED PRODUCTS OF DESTRUCTION OF COMPLEX ALIPHATIC POLYETHERS ETHANOLAMINES

**STARODUBTSEV A. V.**, Postgraduate of Technology Plastics Department, Ural State Forestry Engineering University (Sibirskiy Trakt St., 35, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail address: Emopuragok@mail.ru)

**BALAKIN V. M.**, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Professor of Technology Plastics Department, Ural State Forestry Engineering University (Sibirskiy Trakt St., 35, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail address: balakin\_v.m@mail.ru)

**POLISHCHUK E. Yu.**, Candidate of Technical Sciences, Head of Fire Investigation Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: epyur@ya.ru)

### ABSTRACT

The purpose of this paper is to obtain nitrogen-phosphorus flame retardants for wood based products of degradation of aliphatic polyesters P6 and P9a, as well as the study of their properties. Degradation products were examined by IR spectroscopy, gas-liquid chromatography combined with mass spectrometry, by the results of which they are a mixture consisting of monoethanolamine, glycols and adipic acid diamide. Degradation products were used in the reaction Kabachnik – Fields, amino moiety as a component for the synthesis of  $\alpha$ -aminomethylphosphonic aliphatic acid. The reaction mass after phosphorylation containing mixture  $\alpha$ -aminomethylphosphonic aliphatic acid was neutralized with aqueous ammonia to pH = 7, to give a mixture of ammonium salts of  $\alpha$ -aminomethylphosphonic acids. The resulting solution of ammonium salts of  $\alpha$ -aminomethylphosphonic acids was tested as a flame retardant for wood. There were determined the physico-chemical properties for the obtained flame retardant compositions.

Initial evaluation of the effectiveness of nitrogen-phosphorus flame retardants based on the degradation products of aliphatic polyesters P6 and P9a by monoethanolamine at the wood samples of 150×60×30 mm was showed their high efficiency.

**Keywords:** destruction; aliphatic polyesters; aminolysis; phosphorylation; flame retardant for wood.



## REFERENCES

1. Aseeva R. M., Zaikov G. E. *Goreniye polimernykh materialov* [Burning plastics]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 280 p.
2. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Goreniye drevesiny i yeye pozharoopasnyye svoystva* [Wood combustion and its fire-dangerous properties]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2010. 216 p.
3. Balakin V. M., Starodubtsev A. V., Krasilnikova M. A., Kiseleva A. P. Ognezashchitnyye sostavy dlya drevesiny na osnove produktov aminoliza polietilentereftalata monoetanolinom [Retardants for wood-based products aminolysis of PET by monoethanolamine]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 26–30.
4. Balakin V. M., Starodubtsev A. V., Kychanov V. E., Krasilnikova M. A. Azotfosforsoderzhashchiye antipireny na osnove produktov destruktсии polietilentereftalata etanolinami [Nitrogen phosphorus flame retardants on the basis of destruction products polyethylene terephthalate of ethanolamines]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki — Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2013, no. 8, pp. 41–49.
5. Starodubtsev A. V., Balakin V. M., Kychanov V. E., Krasilnikova M. A. Struktura i svoystva produktov destruktсии polietilentereftalata s dietanolinom i trietanolinom [Structure and properties of polyethylene terephthalate product destruction with diethanolamine and triethanolamine]. *Plasticheskiye massy — Plastics*, 2013, no. 6, pp. 3–5.
6. Balakin V. M., Krasilnikova M. A., Starodubtsev A. V., Kiseleva A. P. Polucheniye i svoystva ognezashchitnykh sostavov na osnove produktov aminoliza polietilentereftalata [Preparation and properties of flame retardants based products aminolysis polyethylene terephthalate]. *Polimernyye materialy ponizhennoy goryuchesti: trudy 6-y Mezhdunarodnoy konferentsii* [Polymeric Materials Low Flammability. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference]. Vologda, 2011, pp. 125–126.
7. Kuptsov A. Kh., Zhizhin G. N. *Furye-KR i Furye-IK spektry polimerov* [IR-spectra of polymers]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2001. 581 p.
8. Tarasevich B. N. *IK-spektry osnovnykh klassov organicheskikh soyedineniy: spravochnyye materialy* [IR spectra of the main classes of organic compounds. Reference materials]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 2012. 54 p.
9. Atta A. M., Abdel-Rauf M. E., Maysour N. E., Abdul-Rahiem A. M., Abdel-Azim A. A. Surfactants from recycled poly(ethylene terephthalate) waste as water based oil spill dispersants. *Journal of Polymer Research*, 2006, vol. 13, no. 1, pp. 39–52. DOI: 10.1007/s10965-005-9003-0.
10. Migahed M. A., Abdul-Raheim A. M., Atta A. M., Brostow W. Synthesis and evaluation of a new water soluble corrosion inhibitor from recycled poly(ethylene terephthalate). *Materials Chemistry and Physics*, 2010, vol. 121, no. 1-2, pp. 208–214. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2010.01.018.
11. Tawfik M. E., Ahmed N. M., Eskander S. B. Aminolysis of poly(ethylene terephthalate) wastes based on sunlight and utilization of the end product [bis(2-hydroxyethylene) terephthalamide] as an ingredient in the anticorrosive paints for the protection of steel structures. *Journal of Applied Polymer Science*, 2011, vol. 120, no. 5, pp. 2842–2855. DOI: 10.1002/app.33350.
12. Cherkasov R. A., Galkin V. I. Reaktsiya Kabachnika – Fildsa: sinteticheskiy potentsial i problema mekhanizma [The Kabachnik – Fields reaction: synthetic potential and the problem of the mechanism]. *Uspekhi khimii — Russian Chemical Reviews*, 1998, vol. 67, no. 10, pp. 857–882. DOI: 10.1070/RC1998v067n10ABEH000421.
13. *State Standard 53292–2009. Fire retardant compositions and substances for wood. General requirements. Test methods*. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 17 p. (in Russian).

**For citation:** Starodubtsev A. V., Balakin V. M., Polishchuk E. Yu. Ognezashchitnyye sostavy dlya drevesiny na osnove produktov destruktсии slozhnykh alifaticeskikh poliefirov monoetanolinom [Flame retardants for wood-based products of destruction of complex aliphatic polyethers ethanolamines]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 43–48. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.43-48.

**В. П. НАЗАРОВ**, д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: npbtp@bk.ru)

**А. А. БОРОДИН**, преподаватель кафедры пожарной автоматики, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: borodin\_ppa@mail.ru)

**А. А. КОРНИЛОВ**, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной автоматики, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: kornilov\_alexei@mail.ru)

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

**М. А. СПИРИДОНОВ**, д-р хим. наук, главный научный сотрудник научно-исследовательской группы Учебного комплекса платных услуг, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

**М. П. ДАЛЬКОВ**, д-р геогр. наук, профессор кафедры пожарной тактики и службы, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620026, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

УДК 614.8:621.64

## СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ И ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССА ФЛЕГМАТИЗАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Приведены основные результаты численных экспериментов по исследованию процесса флегматизации азотом мембранного воздухоразделения, выполнено их сравнение с данными лабораторных экспериментов. Представлено краткое описание параметров численного моделирования. Выявлены характерные особенности динамики концентраций кислорода в объеме резервуара в течение всего процесса. Выполнена оценка достоверности принятых критериев приближенного моделирования.

**Ключевые слова:** флегматизация; численное моделирование; инертный газ; азот; резервуар; нефтепродукты.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.08.49-55

Одним из актуальных направлений исследований является обеспечение пожарной безопасности объектов нефтегазовой отрасли. Согласно ежегодным отчетам [1] в нефтедобывающем и нефтехимическом комплексе в 2012 г. доля оборудования со сроком эксплуатации более 20 лет составила 67 %, а в 2013 г. из-за износа оборудования произошло 50 % аварий. Данный факт предполагает необходимость проведения ремонтных работ, в период которых, по разным источникам, происходит от 20 до 70 % пожаров [1–4].

Одним из способов обеспечения пожарной безопасности емкостного оборудования в указанный период является флегматизация его инертными газами. Данный способ изучен в различной степени как отечественными [5–8], так и зарубежными [9–12] исследователями. Необходимой составляющей изучения данного процесса является эксперимент как

на реальных резервуарах, так и на геометрически подобных моделях с соблюдением критериев подобия. Основные результаты экспериментального исследования процесса флегматизации горизонтальных резервуаров азотом мембранного воздухоразделения были опубликованы ранее [13, 14]. Достоверность приближенного моделирования подтверждена работами многих исследователей [5–8], но в каждом отдельном случае проводится сравнение результатов для моделей, выполненных в различном масштабе, в том числе на промышленных объектах, что может вызывать определенные трудности. Например, при исследовании указанного процесса может возникнуть необходимость в использовании резервуаров стандартных объемов (50, 75 и 100 м<sup>3</sup>), а также мембранной воздухоразделительной установки повышенной мощности, что пропорционально скажется на ее стоимости. В таком случае современной

альтернативой натурному эксперименту может быть эксперимент численный, основанный на применении наукоемких пакетов прикладных программ. Вследствие этого важным представляется решение таких задач, как:

- апробирование программных средств, реализующих сложные численные методы математического моделирования процесса флегматизации, и сравнение результатов численных и натуральных экспериментов;
- выявление и приблизительная оценка неравномерности распределения концентраций кислорода в объеме защищаемого резервуара с помощью визуализации процесса газодинамики;
- выполнение оценки достоверности принятых критериев приближенного моделирования благодаря возможности создания моделей резервуаров горизонтальных стальных (РГС) любых масштабов.

На первоначальном этапе целесообразным представляется проведение серии так называемых оценочных или качественных экспериментов с целью проверки адекватности выбранной математической модели, заданных параметров и граничных условий. После этого возможно составление программы и проведение самостоятельных численных экспериментов на резервуарах различных типоразмеров и масштабов.

В ходе анализа существующих прикладных программ моделирования гидрогазодинамики, таких как “Ansys Fluent” (и входящий в нее пакет “LS-Dyna”), “Gas Dynamics Tool” и “Flow Vision”, был выбран отечественный программный продукт “Flow Vision” версии 3.0.9. Он предназначен для моделирования трехмерных течений жидкости и газа, а также для визуализации этих течений методами компьютерной графики. Базовой в нем является система уравнений Навье – Стокса. Для замыкания системы уравнений используются дополнительные соотношения, описываемые различными моделями. В случае с процессом флегматизации это модель массопереноса смешиваемых компонентов.

Для численного моделирования были выбраны несколько лабораторных экспериментов, проведенных ранее на экспериментальной установке, представленной на рис. 1. В качестве экспериментальных использовались резервуары объемом 0,05; 0,2 и 0,9 м<sup>3</sup>, геометрически подобные друг другу.

В соответствии с характеристиками резервуара (см. рис. 1) была создана его виртуальная 3D-модель и экспортирована в среду “Flow Vision”, где были заданы необходимые параметры: модель расчета, начальные значения температуры, давления, вектора скорости и гравитации. Для случая флегматизации выбрана модель массопереноса со смешиваемыми компонентами. Это означает, что будут решаться уравнение Навье – Стокса (1) и уравнение конвективно-диффузионного переноса (2):

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \nabla) \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla (VC) = \frac{1}{\rho} \nabla (\rho D \nabla C), \quad (2)$$

где  $\vec{v}$  — векторное поле скоростей;  $\vec{v} = (v^1, \dots, v^n)$ ;  
 $t$  — время;

$\nabla$  — оператор Набла;

$\nu$  — коэффициент кинематической вязкости;

$\Delta$  — векторный оператор Лапласа;

$\rho$  — плотность;

$p$  — давление;

$\vec{f}$  — векторное поле массовых сил.

Для того чтобы учесть особенности азота, получаемого с помощью мембранной воздухоразделительной установки, дополнительно была выбрана модель теплопереноса и задана температура среды на входе в резервуар. Сама же подаваемая среда задавалась как смесь газообразных азота и кислорода в концентрации соответственно 99 и 1 % об. Физические свойства веществ заданы в программном средстве по умолчанию. Далее были заданы граничные условия на входе, выходе, стенках резервуара и определена расчетная сетка.

Визуализация процесса осуществлялась во всем объеме резервуара через цветовой градиент с авто-



**Рис. 1.** Внешний вид экспериментальной установки: 1 — ПК со специальным программным обеспечением “ZetLab”; 2 — контрольно-измерительный комплекс; 3 — ротаметр; 4 — винтовой компрессор; 5 — мембранный воздухоразделительный модуль; 6 — прибор измерения объема инертного газа; 7 — экспериментальный резервуар (0,9 м<sup>3</sup>) с размещенными в нем датчиками концентрации кислорода

матическим заданием диапазона (с разрешением 11 цветов на 1 % об.), что позволяло контрастно отображать неравномерность распределения концентраций кислорода в каждый момент времени (рис. 2).

Основные результаты численных экспериментов представлены в табл. 1.

На основании результатов численных экспериментов (см. табл. 1) можно сделать следующие основные выводы:

- выбранная математическая модель достаточно адекватно описывает процесс достижения безопасной по кислороду концентрации парогазовой среды резервуара, так как относительная погрешность во всех проведенных экспериментах не превышает 3,6 %;
- наличие погрешности может объясняться тем, что для решения полноразмерной трехмерной задачи турбулентного движения газов необходимо использовать более мелкую расчетную сетку, что потребует значительных вычислительных ресурсов;
- трехмерная визуализация позволяет получить наглядную картину процесса флегматизации и подтвердить наличие областей с концентрацией кислорода, отличной от среднеобъемной.

Для оценки достоверности принятых критериев приближенного моделирования была проведена серия численных экспериментов на резервуарах различных масштабов. Основные параметры и результаты моделирования приведены в табл. 2.

Проведенные численные эксперименты показали, что результаты, получаемые на виртуальных моделях разных масштабов при соблюдении критериев подобия (геометрическое подобие, кратность подачи инертного газа, энергия приточной струи), хорошо согласуются между собой: относительная погрешность не превышает 2,5 %. Таким образом, получен-

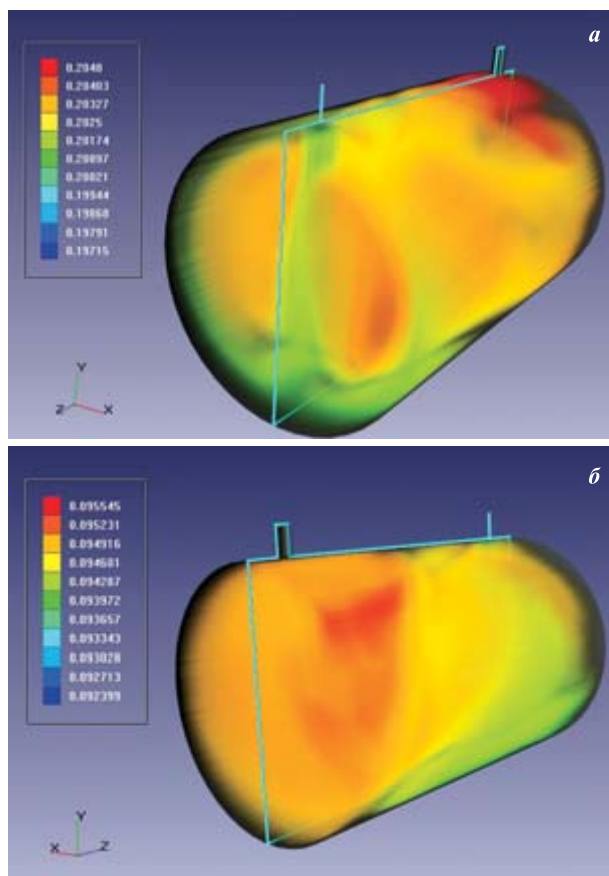


Рис. 2. Распределение концентраций кислорода в резервуаре в начале (а) и по окончании (б) процесса флегматизации

ные на моделях результаты будут также справедливы и для натуральных объектов.

Следует отметить также, что при оценке неравномерности распределения концентрации в ходе численных экспериментов была установлена одна из характерных областей с повышенной концентрацией в течение всего процесса флегматизации. Как видно из рис. 3, эта область находится в районе днища РГС со стороны выходного патрубка. И если контрольный замер концентрации кислорода проводить у вы-

Таблица 1. Результаты численного моделирования

Номер эксперимента	Расход азота, м <sup>3</sup> /ч	Кратность, ч <sup>-1</sup>	Диаметр входного отверстия, мм	Число Рейнольдса Re	Время флегматизации, с			Относительная погрешность, %
					при отсутствии перемешивания среды	экспериментальное	расчетное	
1	0,78	0,87	2	7752,0	4154	5839	6042	3,4
2	0,62	0,69	2	6161,9	5226	7773	7560	2,7
3	0,62	0,69	5	2464,7	5226	6894	7151	3,6
4	0,62	0,69	10	1232,4	5226	7480	7643	2,1
5	0,68	0,76	15	901,1	4765	10152	9850	3,1

Примечания:

1. Под кратностью в данном случае понимается отношение расхода инертного газа к объему резервуара.
2. Время флегматизации экспериментальное и расчетное — время, полученное в результате лабораторных и численных экспериментов соответственно.

Таблица 2. Основные параметры и результаты численного моделирования на РГС различного масштаба

Марка резервуара (масштаб)	Объем РГС, м <sup>3</sup>	Расход азота, м <sup>3</sup> /ч	Кратность, ч <sup>-1</sup>	Диаметр входного отверстия, мм	Re	Время флегматизации расчетное, с	Относительная погрешность, %
РГС-100	100	77,0	0,77	200	7652,6	8100	2,5
РГС-50	50	38,5	0,77	100	7652,6	8029	1,6
РГС-50 (М 1:3)	1,8	1,4	0,77	3,6	7652,6	7900	0,0
РГС-50 (М 1:10)	0,06	0,043	0,77	0,11	7652,6	8901	2,4

Примечание. Продолжительность флегматизации при отсутствии перемешивания среды в каждом случае составляет 4675 с.

ходного отверстия, то можно получить результат, равный приблизительно 6–7 % об., тогда как максимальная концентрация у дна РГС будет составлять около 12 % об., что не соответствует условиям безопасности.

По результатам проведенной работы следует отметить, что, несмотря на достаточно высокую точность получаемых результатов, к численному (полевному) моделированию предпочтительнее прибегать на этапе исследований в связи с высокой трудоемкостью освоения программного продукта, значительными объемами и мощностью вычислительных средств и временными затратами, требуемыми для расчетов. Для получения данных по основным параметрам предремонтной подготовки с помощью воздухоразделительной мембранной установки непосредственно на объекте необходима более оперативная работа при незначительных вычислительных ресурсах. Реализовать это позволит программный

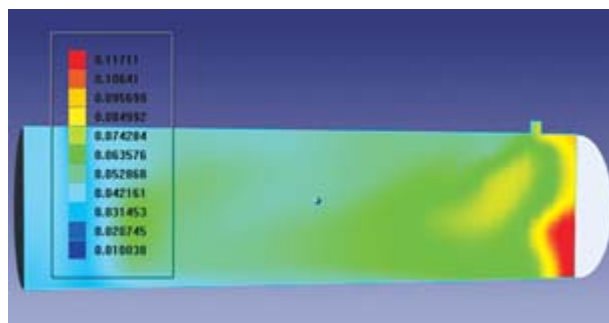


Рис. 3. Распределение концентраций кислорода в продольном сечении РГС-100

продукт, который основан на интегральной математической модели, полученной путем решения системы дифференциальных уравнений, и является практическим результатом исследования процесса флегматизации горизонтальных резервуаров азотом мембранного разделения воздуха.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports) (дата обращения: 22–25.06.2015).
2. Назаров В. П. Обеспечение пожаровзрывобезопасности при ликвидации аварий и ЧС на объектах транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов // Актуальные проблемы пожарной безопасности : матер. XXI Междунар. научн.-практ. конф. — М. : ВНИИПО, 2009. — Ч. 1. — С. 166–169.
3. Назаров В. П., Коротовских Я. В. Компьютерные технологии прогнозирования пожаровзрывоопасности производственных объектов // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2010. — № 5. — 6 с. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-5/2010-5.html> (дата обращения: 15–19.06.2015).
4. Байбурун Р. А. Перспективы совершенствования организации зачистных и ремонтных работ резервуаров // Матер. 54-й научн.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых Уфимского государственного нефтяного технического университета. — Уфа : УГНТУ, 2003. — С. 83.
5. Корнилов А. А. Повышение безопасности аварийно-ремонтных работ на нефтяных резервуарах способом флегматизации азотом мембранного разделения : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. — 23 с.
6. Булгаков В. В. Обеспечение пожаровзрывобезопасности огневых аварийно-ремонтных работ на резервуарах способом флегматизации : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2001. — 236 с.
7. Назаров В. П. Очистка резервуаров от остатков светлых нефтепродуктов перед проведением огневых ремонтных работ : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ, 1980. — 250 с.

8. *Сорокоумов В. П.* Обеспечение пожарной безопасности резервуаров с локальными остатками нефтепродуктов при проведении аварийно-ремонтных работ : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. — 160 с.
9. *Hirst R., Savage N., Booth K.* Measurement of inerting concentrations // *Fire Safety Journal*. — 1981–1982. — Vol. 4, Issue 3. — P. 147–158. DOI: 10.1016/0379-7112(81)90013-8.
10. *Naoshi Saito, Yoshio Ogawa, Yuko Saso, Chihong Liao, Ryuta Sakei.* Flame-extinguishing concentrations and peak concentrations of N<sub>2</sub>, Ar, CO<sub>2</sub> and their mixtures for hydrocarbon fuels // *Fire Safety Journal*. — 1996. — Vol. 27, Issue 3. — P. 185–200. DOI: 10.1016/S0379-7112(96)00060-4.
11. *Schultze M., Horn J.* Modellierung und Nichtlineare Modellprädiktive Regelung des Abluftmassenstroms von Brennstoffzellen // *Automatisierungstechnik*. — 2015. — Vol. 63, Issue 4. — P. 312–321. DOI: 10.1515/auto-2014-1178.
12. *Откідач М. Я.* Флегматизування газових горючих середовищ із застосуванням повітродільних мембранних установок : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Харків, 2001. — 19 с.
13. *Корнилов А. А., Бородин А. А., Барбин Н. М., Зыков П. И., Хужаев А. Т.* Исследование оптимальных схем подачи инертного газа при флегматизации горизонтальных резервуаров // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2014. — Т. 23, № 6. — С. 81–87.
14. *Бородин А. А.* Экспериментальное исследование процесса флегматизации горизонтального резервуара для нефтепродуктов // *Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал*. — 2012. — № 6. — 9 с. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-6/2012-6.html> (дата обращения: 17–19.06.2015).

*Материал поступил в редакцию 17 июня 2015 г.*

**Для цитирования:** *Назаров В. П., Бородин А. А., Корнилов А. А., Акулов А. Ю., Спиридонов М. А., Дальков М. П.* Сравнение результатов лабораторных и численных экспериментов при исследовании процесса флегматизации горизонтальных стальных резервуаров для нефтепродуктов // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 49–55. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.49-55.

English

## COMPARISON OF RESULTS OF LABORATORY AND NUMERICAL EXPERIMENTS IN STUDY OF THE PHLEGMATIZING OF HORIZONTAL TANKS FOR OIL

**NAZAROV V. P.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Fire Safety of Technological Processes Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 123366, Russian Federation; e-mail address: npbtp@bk.ru)

**BORODIN A. A.**, Lecturer of Fire Automatics Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: borodin\_ppa@mail.ru)

**KORNILOV A. A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Fire Automatics Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: kornilov\_alexei1@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)

**SPIRIDONOV M. A.**, Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher of the Research Group, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

**DALKOV M. P.**, Doctor of Geographical Sciences, Professor of Tactics and Service Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

### ABSTRACT

One of the promising methods of fire safety processes of preparation and repair work on tanks for petroleum and petroleum products is desensitization with nitrogen of air separation membrane. The study of this process may be complicated by the need to conduct field experiments in the tanks of

large capacity, which is directly proportional to the impact on the cost of the membrane air separation plant. A modern numerical simulation using the software packages is a possible alternative. The paper presents the main results of numerical modeling of desensitization using the application package “Flow Vision” and fulfilled their comparison with the results of laboratory experiments. It’s get high reproducibility and evaluated the relative error. The accuracy of the adopted criteria approximate simulation is confirmed. The specific places maximum concentrations of oxygen in the amount of horizontal tank are identified by using the visualization process. Despite the high reproducibility, numerical (CFD) modeling preferable to use in step research, due to the high required computational power and duration calculations. To obtain data on the basic parameters of the pre-repair training with the help of the air separation membrane unit on-site work must be more operational. It will implement a software product based on an integrated mathematical model obtained by solving a system of differential equations, which is the practical result of the study of desensitization.

**Keywords:** phlegmatization; numerical simulation; inert gas; nitrogen; tank; petroleum products.

## REFERENCES

1. *Ezhegodnyye otchety o deyatelnosti Federalnoy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru* [Annual report on the activities of the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision]. Available at: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports) (Accessed 22–25 June 2015).
2. Nazarov V. P. Obespecheniye pozharovzryvobezопасnosti pri likvidatsii avariyy i ChS na obyektakh transporta i khraneniya nefi i nefteproduktov [Fire-fighting in liquidation of emergencies and accidents at the facilities of transportation and storage of crude oil and petroleum products]. *Aktualnyye problemy pozharnoy bezопасnosti: materialy XXI Mezhdunarodnoy nauchn.-prakt. konf.* [Actual Problems of Fire Safety. Proceedings of XXI International Academic and Research Conference]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2009, part 1, pp. 166–169.
3. Nazarov V. P. Korotovskikh Ya. V. Kompyuternyye tekhnologii prognozirovaniya pozharovzryvopasnosti proizvodstvennykh obyektov [Computer technology prediction fire and explosion hazard of production objects]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezопасnosti. Internet-zhurnal — Technology Technospheric Security. Internet-Journal*, 2010, no. 5. 6 p. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-5/2010-5.html> (Accessed 15–19 June 2015).
4. Bayburin R. A. Perspektivy sovershenstvovaniya organizatsii zachistnykh i remontnykh rabot rezervuarov [Prospects for improving the organization stripping and repair tanks]. *Materialy 54-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh Ufimskogo gosudarstvennogo neftyanogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of 54<sup>th</sup> Scientific and Technical Conference of students, graduate students and young scientists of Ufa State Petroleum Technological University]. Ufa, Ufa State Petroleum Technological University Publ., 2003, p. 83.
5. Kornilov A. A. *Povysheniye bezопасnosti avariyno-remontnykh rabot na neftyanykh rezervuarakh sposobom flegmatizatsii azotom membrannogo razdeleniya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Increase of safety of emergency repair work on oil tanks in the way of phlegmatization by nitrogen of membrane division. Abstr. cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2012. 23 p.
6. Bulgakov V. V. *Obespecheniye pozharovzryvobezопасnosti ognevykh avariyno-remontnykh rabot na rezervuarakh sposobom flegmatizatsii: dis. kand. tekhn. nauk* [Ensuring fire and explosion safety of fire emergency repair work on tanks in the way of phlegmatization. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2001. 236 p.
7. Nazarov V. P. *Ochistka rezervuarov ot ostatkov svetlykh nefteproduktov pered provedeniyem ognevykh remontnykh rabot: dis. kand. tekhn. nauk* [Cleaning of tanks of the remains of light oil products before carrying out fire repair work. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, High Engineering Fire Technical School Publ., 1980. 250 p.
8. Sorokoumov V. P. *Obespecheniye pozharnoy bezопасnosti rezervuarov s lokalnymi ostatkami nefteproduktov pri provedenii avariyno-remontnykh rabot: dis. kand. tekhn. nauk* [Ensuring fire safety of tanks with the local remains of oil products when carrying out emergency repair work. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2002. 160 p.
9. Hirst R., Savage N., Booth K. Measurement of inerting concentrations. *Fire Safety Journal*, 1981–1982, vol. 4, issue 3, pp. 147–158. DOI: 10.1016/0379-7112(81)90013-8.

10. Naoshi Saito, Yoshio Ogawa, Yuko Saso, Chihong Liao, Ryuta Sakei. Flame-extinguishing concentrations and peak concentrations of N<sub>2</sub>, Ar, CO<sub>2</sub> and their mixtures for hydrocarbon fuels. *Fire Safety Journal*, 1996, vol. 27, issue 3, pp. 185–200. DOI: 10.1016/S0379-7112(96)00060-4.
11. Schultze M., Horn J. Modellierung und Nichtlineare Modellprädiktive Regelung des Abluftmassenstroms von Brennstoffzellen. *Automatisierungstechnik*, 2015, vol. 63, issue 4, pp. 312–321. DOI: 10.1515/auto-2014-1178.
12. Otkidach M. Ya. Flegmatizuvannya gazovikh goryuchikh seredovishch iz zastosuvannyam povitrozodilnikh membrannikh ustanovok: dis. kand. tekhn. nauk [Phlegmatization of combustible gas environments by using an air separation membrane units. Cand. tech. sci. diss.]. Kharkov, 2001. 19 p.
13. Kornilov A. A., Borodin A. A., Barbin N. M., Zikov P. I., Khuzhaev A. T. Issledovaniye optimalnykh skhem podachi inertnogo gaza pri flegmatizatsii gorizontalnykh rezervuarov [Examination of the optimum scheme of supply of inert gas at phlegmatization of horizontal tanks]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 6, pp. 81–87.
14. Borodin A. A. Eksperimentalnoye issledovaniye protsessa flegmatizatsii gorizontalnogo rezervuara dlya nefteproduktov [Experimental study of oxygen reduction of horizontal tanks for petroleum products]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Technology Technospheric Security. Internet-Journal*, 2012, no. 6. 9 p. Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2012-6/2012-6.html> (Accessed 17–19 June 2015).

**For citation:** Nazarov V. P., Borodin A. A., Kornilov A. A., Akulov A. Yu., Spiridonov M. A., Dalkov M. P. Sravneniye rezultatov laboratornykh i chislennykh eksperimentov pri issledovanii protsessa flegmatizatsii gorizontalnykh stalnykh rezervuarov dlya nefteproduktov [Comparison of results of laboratory and numerical experiments in study of the phlegmatizing of horizontal tanks for oil]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 49–55. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.49-55.



## 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](mailto:mail@firepress.ru)



**А. А. КОМАРОВ**, д-р техн. наук, профессор кафедры гидравлики и водных ресурсов, НТЦ "Взрывоустойчивость", Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26, e-mail: bzbb@mail.ru)

**В. В. КАЗЕННОВ**, д-р техн. наук, профессор, НТЦ "Взрывоустойчивость", Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26, e-mail: mishuev@mail.ru)

**А. А. ГУСЕВ**, канд. техн. наук, профессор кафедры гидравлики и водных ресурсов, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

**Н. В. ГРОМОВ**, канд. техн. наук, зав. лаборатории газодинамики горения и взрыва НТЦ "Взрывоустойчивость", Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

УДК 614.83

## КРИТЕРИЙ КВАЗИСТАТИЧНОСТИ ВЗРЫВНОГО ДАВЛЕНИЯ ГАЗОПАРОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В ПОМЕЩЕНИЯХ

Приведен и обоснован критерий квазистатичности избыточного давления при внутреннем взрыве газозвушной смеси. Показано, что в случае квазистатичности процесса аварийного взрыва нагрузки зависят только от времени и не зависят от пространственных координат. Приведены расчеты, показывающие выполнение критерия квазистатичности давления взрыва. Установлено, что при частичной загазованности больших помещений при взрыве будет наблюдаться нарушение квазистатичности взрывного давления, а это, в свою очередь, приведет к волновому характеру взрывных нагрузок. Дан анализ взрывоустойчивости объекта в случае нарушения квазистатичности взрывного давления.

**Ключевые слова:** аварийный взрыв; дефлаграция; избыточное давление; критерий квазистатичности; газопаровоздушная смесь.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.08.56-61

Анализ аварийных взрывов газопаровоздушных смесей (ГПВС) в помещениях различного назначения показывает, что в подавляющем большинстве случаев наблюдается дефлаграционный тип взрывного превращения. Причем процесс взрыва достаточно скоротечен (менее нескольких секунд), поэтому аварийный взрыв (и связанные с ним динамические нагрузки) автоматически относят к существенно нестационарным или волновым процессам. Однако применительно к механике сплошной среды между этими понятиями существует большая разница. Нестационарные процессы делятся на квазистатические и волновые. При квазистатических процессах параметры среды зависят только от времени, но не зависят от пространственных координат. При волновых процессах параметры среды зависят и от времени, и от координат. Указанную классификацию процессов чаще всего используют в термодинамике.

От того, какой процесс аварийного взрыва (квазистатический или волновой) будет наблюдаться, зависит и метод расчета параметров взрыва. Знание критерия квазистатичности процесса взрыва позволяет решить эту задачу.

Критерием квазистатичности процесса (т. е. независимости какого-либо параметра среды от пространственных координат) является существенное превышение времени значительного изменения рассматриваемого параметра системы над временем выравнивания его по системе.

Определим критерий квазистатичности процесса взрыва применительно к некоторому объему с характерным линейным размером  $L$  [1].

Скорость притока продуктов взрыва пропорциональна видимой скорости пламени  $U_{пл}$ , а характерное время взрыва  $T_{взр} = L_{взр}/U_{пл}$  (где  $L_{взр}$  — характерный размер области продуктов горения по окончании взрыва).

Скорость выравнивания по объему избыточного давления, возникающего при взрыве, пропорциональна скорости распространения звука  $C$ , поэтому характерное время установления равновесия или период собственных колебаний воздушной среды в рассматриваемом объеме  $T_0 = L/C$ . При условии  $T_{взр} \gg T_0$  избыточное давление, создаваемое взрывом, будет удовлетворять принципу квазистатичности, т. е. в лю-

бой точке объема избыточное давление в данный момент времени будет иметь примерно одинаковое значение. Другими словами, избыточное давление, распространяющееся со скоростью звука, “успеивает” выровняться по всему объему за время заметного перемещения фронта пламени,двигающегося со скоростью  $U_{пл}$ . При полной загазованности помещения условием квазистатичности процесса взрыва будет соотношение  $U_{пл} \ll C$ . Учитывая, что при дефлаграционных взрывах видимая скорость пламени значительно меньше скорости звука, получаем, что избыточное давление при аварийном взрыве в большинстве помещений подчиняется принципу квазистатичности. Исключения составляют большие (или протяженные) и частично загазованные объемы (помещения), в которых нарушается принцип квазистатичности, т. е. выполняется условие  $T_{взр} \ll T_0$ , а значит, возникают волновые процессы. При аварийных взрывах в атмосфере, где характерный размер области, в которой происходит взрыв, практически бесконечный ( $L \rightarrow \infty$ ), в воздушной среде всегда возникают волновые процессы [2].

Приведем более корректное обоснование указанного выше критерия квазистатичности взрывного давления в некотором объеме.

Рассмотрим в линейной постановке (что обусловлено малостью избыточного давления) общие закономерности динамики взрывного давления в рассматриваемом объеме. Пренебрегая вязким трением и диссипацией энергии и учитывая, что видимая скорость пламени существенно меньше скорости звука, из общих уравнений движения газа получаем, что потенциал скорости  $\varphi$  описывается следующим волновым уравнением [1, 3]:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - C^2 \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial Q}{\partial V} C^2 \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) \delta(z - z_0), \quad (1)$$

где  $\varphi$  — потенциал скорости;  $U = \text{grad } \varphi$ ;  
 $Q$  — производительность источников, характеризующих приток продуктов взрыва;  
 $V$  — объем;  
 $\partial Q / \partial V$  — удельная производительность источников;  
 $\delta(x), \delta(y), \delta(z)$  — дельта-функции.  
 Параметр  $Q$  определяется по формуле

$$Q = S(t) U_n (\varepsilon - 1) f(t, x_0, y_0, z_0),$$

где  $S(t)$  — текущая суммарная площадь фронта пламени;  
 $U_n$  — скорость нормального горения ГПВС;  
 $\varepsilon$  — степень расширения смеси при сгорании;

$f(t, x_0, y_0, z_0)$  — функция, описывающая поверхность фронта горения.

Принимая, что объем имеет форму параллелепипеда с размерами  $h, b, l$ , и учитывая, что на границе объема (область  $G$ ) должно выполняться условие непротекания  $(\partial \varphi / \partial n)|_G = 0$  (где  $n$  — нормаль к границе; индекс  $G$  означает, что производная равна нулю на границе области), из (1) получаем, что потенциал скорости имеет вид (без ограничения общности рассматривается случай центрального воспламенения смеси, т. е. симметричная задача):

$$\varphi = \sum A_{nmpk} \cos \frac{\pi x n}{l} \cos \frac{\pi y m}{b} \cos \frac{\pi z q}{h} e^{i \Omega_k t}, \quad (2)$$

где  $A_{nmpk}$  — амплитуда гармоники;  
 $n, m, q$  — порядковые номера гармоники по трем направлениям;  
 $\Omega_k$  — частота созданного (сгенерированного) притоком продуктов сгорания) волнового возмущения;

$$\frac{\Omega_k^2}{C^2} = \sqrt{\left( \frac{\omega_k}{C} \right)^2 - (K_x^2 + K_y^2 + K_z^2)}; \quad (3)$$

$\omega_k$  — собственная частота источников (в данном случае собственные частоты функции притока продуктов сгорания);  $\omega_k = 2\pi k / T$ ;  
 $T$  — общее время процесса взрыва;  
 $k$  — волновое число;  
 $K_x, K_y, K_z$  — волновые числа в направлениях  $x, y, z$ ;  $K_x = \pi n / l$ ;  $K_y = \pi m / b$ ;  $K_z = \pi q / h$ .  
 Из (3) следует [1, 3], что при

$$\omega_k / C < K_x^2 + K_y^2 + K_z^2 \quad (4)$$

частота  $\Omega_k$  имеет чисто мнимое значение, а значит, согласно (2) происходит экспоненциальное затухание колебаний.

Физически это означает, что любое возмущение среды с частотой, удовлетворяющей условию (4), быстро затухает, и в каждый момент времени  $t_0$  в помещении будет реализовано давление, характерное для источника с производительностью  $Q(t_0)$ . Это доказывает принцип квазистатичности избыточного давления, при котором давление представляет собой функцию только времени и не зависит от пространственных координат. Соотношение (4) является критерием соблюдения принципа квазистатичности давления. Только при возмущениях среды, происходящих с частотой, превышающей частоту отсечки  $\omega_{отс}$  (термин, принятый в акустике):

$$\frac{\omega}{C} > \frac{\omega_{отс}}{C} = K_x^2 + K_y^2 + K_z^2, \quad (5)$$

в объеме будут наблюдаться акустические колебания. Минимальное значение частоты отсечки легко определить из формулы

$$\frac{\omega_{\text{отс min}}}{C} = \frac{\pi}{L}, \quad (6)$$

где  $L$  — максимальный линейный размер объема;  
 $L = \max(h, b, l)$ .

Из (6) следует, что максимальное время переходного процесса, приводящего к нарушению квазистатики, определяется из равенства

$$T = 2L/C. \quad (7)$$

Другими словами, если за время  $T$  в объеме (помещении) произойдет заметное изменение параметров среды, то только в этом случае возможно появление акустических колебаний [1–3].

Проиллюстрируем принцип квазистатичности избыточного давления взрыва в помещении с характерным линейным размером  $L = 10$  м (рис. 1). Время собственных колебаний воздушной среды в помещении составляет  $T_0 = L/C \approx 75$  мс.

Расчеты проводились по методикам, основные принципы и допущения которых изложены в [1, 4–7]. Рассматривались два варианта времени развития взрыва: для первого взрыва  $T_{\text{взр}} = 5$  мс (частичная загазованность помещения), для второго —  $T_{\text{взр}} = 300$  мс (полная загазованность помещения). Для первого взрыва критерий квазистатичности не выполняется ( $5 \text{ мс} \ll 75 \text{ мс}$ ), а значит, в помещении возникают волновые явления. Это хорошо видно из рис. 2, на котором приведен мгновенный профиль поля избыточного давления  $\Delta P$  в помещении через 40 мс после взрыва.

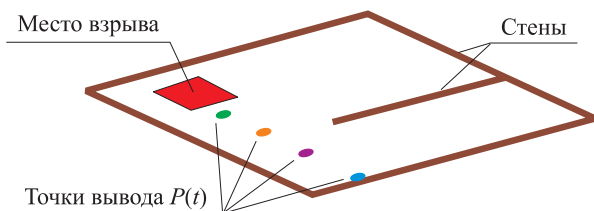


Рис. 1. Схема помещения

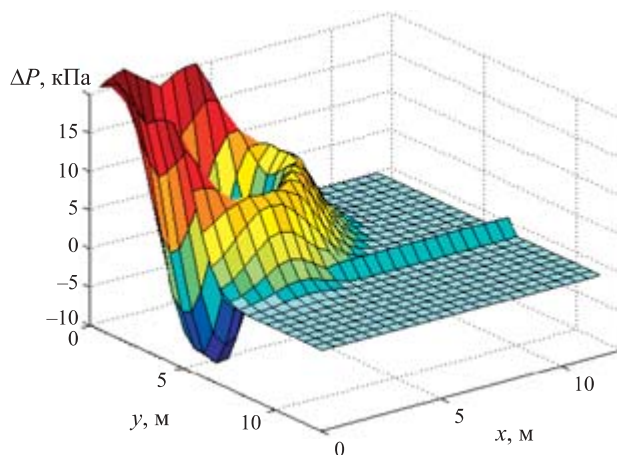


Рис. 2. Поле избыточного давления через 40 мс после взрыва

На рис. 3 представлены временные зависимости избыточного давления в четырех различных точках помещения (см. рис. 1).

Для второго взрыва критерий квазистатичности давления выполняется ( $300 \text{ мс} \gg 75 \text{ мс}$ ), поэтому давление во всех точках помещения в один и тот же момент времени примерно одинаково. Это видно из рис. 4, на котором приведены временные зависимости избыточного давления в различных точках помещения.

Отметим, что в случае волнового характера взрыва в помещении давление в некоторый момент времени может быть значительно больше, чем при квазистатическом характере взрыва.

В вытянутых объемах при распространении фронта пламени в «глухую» стенку, например в шахтах, как правило, начинается вибрация пламени, что связано с гидродинамической неустойчивостью процесса [5], поэтому на собственных частотах объема (длина акустической волны равна характерным размерам объема) возникает акустический резонанс (рис. 5).

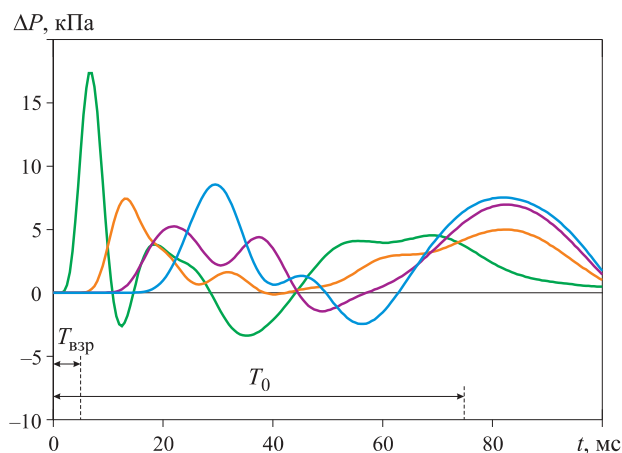


Рис. 3. Временные зависимости взрывного давления в различных точках помещения ( $T_{\text{взр}} = 5$  мс,  $T_0 = 75$  мс)

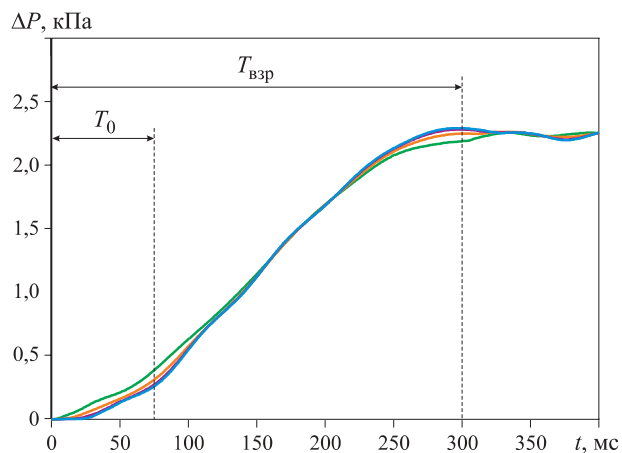
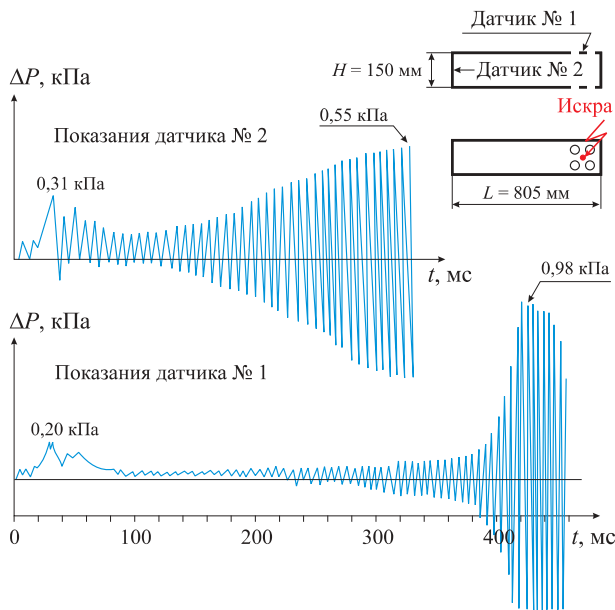


Рис. 4. Временные зависимости взрывного давления в различных точках помещения ( $T_{\text{взр}} = 300$  мс,  $T_0 = 75$  мс)



**Рис. 5.** Зависимость взрывного давления от времени в вытянутой камере при распространении фронта пламени в “глухую” стенку объема

На графике зависимости давления от времени (см. рис. 5) отчетливо виден процесс раскочки и затухания акустических колебаний (резонанса) на первой собственной частоте объема. Со стороны этот процесс воспринимается как завывание пламени.

Таким образом, в помещениях больших габаритных размеров при их частичной загазованности на начальном этапе взрыва ГПВС наблюдается нарушение квазистатичности процесса горения, что приводит к волновому характеру взрывных нагрузок. В динамических характеристиках взрывных нагрузок присутствует отрицательная (по отношению к атмосферному давлению) составляющая — волна разрежения. Воздействие на строительные конструкции волны сжатия (положительная нагрузка) и разрежения (отрицательная нагрузка) является фактором, приводящим к усилению воздействия взрывных нагрузок на строительные конструкции.

Пример разрушения торцевой и боковой стен многоярусного склада замороженных продуктов питания при локальном внутреннем аварийном взрыве приведен на рис. 6. Свидетели аварии слышали характерное низкочастотное завывание, которое сопровождалось обрушением стеновых панелей склада.

### Выводы

Приведен и обоснован критерий квазистатичности нагрузок, формирующихся при аварийных взры-



**Рис. 6.** Последствия локального аварийного взрыва в складском помещении

вах. При выполнении данного критерия взрывные нагрузки зависят только от времени и не зависят от пространственных координат. При нарушении приведенного критерия взрывные нагрузки носят волновой характер.

Показано, что возникновение волновых процессов при аварийных взрывах (нарушение критерия квазистатичности) в основном характерно для протяженных зданий и помещений или для больших и частично загазованных помещений.

Приведены примеры формирования взрывных нагрузок, носящих явно выраженный волновой характер.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комаров А. А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МГСУ, 2001. — 492 с.

2. *Абросимов А. А., Комаров А. А.* Механизмы формирования взрывных нагрузок на территории нефтеперерабатывающих комплексов // Нефть, газ и бизнес. — 2002. — № 6 (50). — С. 58–61.
3. *Голдстейн М. Е.* Аэроакустика. — М. : Машиностроение, 1981. — С. 294.
4. *Хуснутдинов Д. З., Мишуев А. В., Казеннов В. В., Комаров А. А., Громов Н. В.* Аварийные взрывы газоздушных смесей в атмосфере. — М. : МГСУ, 2014. — 80 с.
5. *Казеннов В. В.* Динамические процессы дефлаграционного горения во взрывоопасных зданиях и помещениях : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МГСУ, 1997. — 445 с.
6. *Комаров А. А.* Расчет газодинамических характеристик потоков при аварийных дефлаграционных взрывах на наружных установках // Пожаровзрывобезопасность. — 2002. — Т. 11, № 5. — С. 15–18.
7. *Абросимов А. А., Комаров А. А.* Мероприятия, обеспечивающие безопасные нагрузки при аварийных взрывах в зданиях со взрывоопасными технологиями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2002. — № 4. — С. 48–51.
8. *Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Vyakov A. V.* The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1073–1076. — P. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
9. *Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F.* Heat balance of extinguishing process of flammable liquid by sprayed water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1070–1072. — P. 1794–1798. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1070-1072.1794.
10. *Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A.* Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings // Applied Mechanics and Materials. — 2013. — Vol. 475–476. — P. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.
11. *Gorshkov V. I., Korolchenko D. A., Shebeko Yu. N., Navtsenya V. Yu., Kostyukhin A. K.* The peculiarities of application of gas-aerosol fire extinguishing tools in various rooms // Proceedings of Second International Seminar on Fire-and-Explosion Hazard of Substances and Venting of Deflagrations. — Moscow : All-Russian Research Institute for Fire Protection, 1997. — P. 800–808.

*Материал поступил в редакцию 13 мая 2015 г.*

**Для цитирования:** *Комаров А. А., Казеннов В. В., Гусев А. А., Громов Н. В.* Критерий квазистатичности взрывного давления газопаровоздушных смесей в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 56–61. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.56-61.

English

## CRITERION FOR QUASI-STATIC CONDITIONS FOR CONFINED BLAST PRESSURE OF A GAS-AIR MIXTURE IN PREMISES

**KOMAROV A. A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Hydraulics and Water Resources Department, Scientific and Technical Center "Explosion Stability", Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: bzbb@mail.ru)

**KAZENNOV V. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific and Technical Center "Explosion Stability", Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation, e-mail: mishuev@mail.ru)

**GUSEV A. A.**, Candidate of Technical Sciences, Professor of Hydraulics and Water Resources Department, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

**GROMOV N. V.**, Candidate of Technical Sciences, Head of Gas-Dynamics of Burning and Explosion Laboratory, Scientific and Technical Center "Explosion Stability", Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

### ABSTRACT

The criterion for quasi-static conditions for overpressure caused by internal air-gas mixture blast is substantiated in the article. In this process the blast pressure is considered as a function of time and does not depend on spatial coordinates.

The article reveals calculations justifying the criterion for quasi-static conditions for the blast pressure. It is shown that the blast in large premises partially filled with a gas may not comply with quasi-static conditions, which leads to the wave behavior of the blast loads. The blast resistance analysis for the facility is given for the case of quasi-static conditions violation.

**Keywords:** emergency blast; deflagration; overpressure; criterion for quasi-static conditions; gas-air mixture.

## REFERENCES

1. Komarov A. A. *Prognozirovaniye nagruzok ot avariynykh deflagratsionnykh vzryvov i otsenka posledstviy ikh vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya: dis. d-ra tekhn. nauk* [Forecasting of emergency deflagration explosion loads and aftermath estimation of their effects on buildings. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2001. 492 p.
2. Abrosimov A. A., Komarov A. A. *Mekhanizmy formirovaniya vzryvnykh nagruzok na territorii neftepererabatyvayushchikh kompleksov* [The blast loads mechanism at oil refinery territories]. *Neft, gaz i biznes — Oil, Gas and Business*, 2002, no. 6, pp. 58–61.
3. Goldstein M. E. *Aeroakustika* [Aeroacoustics]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1981. 294 p.
4. Khusnutdinov D. Z., Mishuev A. V., Kazennov V. V., Komarov A. A., Gromov N. V. *Avariynnye vzryvy gazovozdushnykh smesey v atmosfere* [Emergency explosions of the gas mixtures in atmosphere]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2014. 80 p.
5. Kazennov V. V. *Dinamicheskiye protsessy deflagratsionnogo goreniya vo vzryvoopasnykh zdaniyakh i pomeshcheniyakh: dis. d-ra tekhn. nauk* [Deflagration dynamic processes for explosive buildings and premises (doctoral thesis)]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 1997. 445 p.
6. Komarov A. A. *Raschet gazodinamicheskikh kharakteristik potokov pri avariynykh deflagratsionnykh vzryvakh na naruzhnykh ustanovkakh* [Calculation of gas dynamics characteristics of flows during deflagrations at outdoor installations]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2002, vol. 11, no. 5, pp. 15–18.
7. Abrosimov A. A., Komarov A. A. *Meropriyatiya, obespechivayushchiye bezopasnyye nagruzki pri avariynykh vzryvakh v zdaniyakh so vzryvoopasnymi tekhnologiyami* [Measures to ensure the safe blast loads in blast-hazardous premises]. *Seismologicheskoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy — Seismological Construction. Safety of Facilities*, 2001, no. 4, pp. 48–51.
8. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1073–1076, pp. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
9. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Heat balance of extinguishing process of flammable liquid by sprayed water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1070–1072, pp. 1794–1798. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1070-1072.1794.
10. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 475–476, pp. 1344–1350. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.475-476.1344.
11. Gorshkov V. I., Korolchenko D. A., Shebeko Yu. N., Navtsenya V. Yu., Kostyukhin A. K. The peculiarities of application of gas-aerosol fire extinguishing tools in various rooms. *Proceedings of Second International Seminar on Fire-and-Explosion Hazard of Substances and Venting of Deflagrations*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1997, pp. 800–808.

**For citation:** Komarov A. A., Kazennov V. V., Gusev A. A., Gromov N. V. Kriteriy kvazistatichnosti vzryvnogo davleniya gazoparovozdushnykh smesey v pomeshcheniyakh [Criterion for quasi-static conditions for confined blast pressure of a gas-air mixture in premises]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 56–61. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.56-61.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,  
В. Н. Веревкин, В. А. Пехотиков, 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.

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

**Е. И. КАЙБИЧЕВА**, главный специалист, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Свердловской области “Свердловскстат” (Россия, 620041, г. Екатеринбург, ул. Толмачева, 23)

**Ю. С. РЫБАКОВ**, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник Учебного комплекса платных услуг, Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

УДК 519.25

## ИНДЕКС РИСКА ПОЖАРА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В 2010–2014 ГОДАХ

Выполнен расчет индексов пожарного риска в регионах Российской Федерации в период 2010–2014 гг. на основе метода Доу-Джонса. Проведено категорирование регионов, которое позволит сравнить ситуацию с риском пожара. Выделены опасные и кризисные регионы. Определены частоты попадания регионов в опасную и кризисную группы. Предложенные индексы пожарного риска могут быть использованы для обоснования управленческих и кадровых решений.

**Ключевые слова:** статистика пожаров; индекс Доу-Джонса; пожарный риск; индекс риска пожара; категорирование регионов.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.08.63-74

Исследования в области риска начались с работы Фрэнка Найти [1], в которой были разграничены понятия “риск” и “неопределенность”. В риске сочетается вероятность и последствия наступления неблагоприятных событий. Изначально оценивалась вероятность наступления неблагоприятного события, а в дальнейшем [2–10] стали учитываться последствия наступления события (преимущественно в финансовой сфере).

В технической сфере риск  $R$  определяют по формуле

$$R = PL, \quad (1)$$

где  $P$  — вероятность одного нежелательного события;

$L$  — размер материального ущерба или количество жертв в результате одного нежелательного события [11–13].

Понятие пожарного риска и методика его расчета предложены в работах [14–21]. К основным пожарным рискам относятся следующие:

1) риск для человека столкнуться с пожаром (его опасными факторами) за единицу времени  $R_1$  (пожар/ $10^3$  чел. · год);

2) риск для человека погибнуть при пожаре (оказаться его жертвой)  $R_2$  (жертва/ $10^2$  пожаров);

3) риск для человека погибнуть от пожара за единицу времени  $R_3$  (индивидуальный пожарный риск) (жертва/ $10^5$  чел. · год).

Очевидно, что эти риски связаны соотношением

$$R_3 = R_2 R_1. \quad (2)$$

Риск  $R_1$  характеризует возможность реализации пожарной опасности, а риски  $R_2$  и  $R_3$  — некоторые последствия этой реализации.

Понятие пожарного риска активно используется в Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности [22]. Порядок расчета пожарного риска определен в [23–25]. В исследованиях А. Фирсова отмечено, что в 2010–2013 гг. в Российской Федерации наблюдался самый высокий в мире уровень индивидуального пожарного риска [26–28]. Анализ методики [24] показал, что расчет по ней величины индивидуального пожарного риска дает завышенный результат в десятки, сотни и даже в тысячи раз. Это вынуждало владельцев объектов повышать пожарную безопасность объектов до уровней, не соответствующих уровню развития национальной экономики. Автором работ [26–28] обоснована корректировка нормативного значения индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях различных классов функциональной пожарной опасности, скорректирована формула для определения расчетной величины индивидуального пожарного риска в них.

В [29–32] разработаны экспресс-методы оценки пожарных рисков, при использовании которых появилась возможность сравнивать расчетные значе-



ния пожарных рисков с их нормативными показателями.

Адекватные аналитические модели управления пожарным риском на основе страховой деятельности применены в исследовании [33]. При этом автором разработан метод оценки эффективности функционирования системы страхования пожарных рисков.

В [34] применена теория нечетких множеств для оценки индивидуального пожарного риска резервуарных парков посредством методологии системного анализа нечеткой логики. При этом разработана методика экспертной оценки частоты разгерметизации вертикальных резервуаров, позволяющая определить, во сколько раз интенсивность аварийных отказов в них будет в той или иной степени отличаться от среднестатистического значения.

Алгоритм классификации рисков возникновения пожаров в жилом секторе для определения степени их потенциальных угроз предложен в [35]. Он исключает возможность включения фактора в несколько классов рисков (от действий противопожарной службы МЧС, муниципалитета, управляющей компании, жильцов) за счет синтеза решающих правил распознавания, основанных на существенном использовании экспертной информации.

В исследовании [36] доказано, что результаты определения расчетных величин пожарного риска для резервуарных парков хранения нефти, полученные с использованием только максимальной возможной температуры окружающего воздуха, характерной для данного региона, являются значительно завышенными. Автором [36] предложено в качестве расчетной величины принимать среднее значение пожарного риска, полученное отдельно для каждого месяца года с использованием среднемесячных показателей температуры окружающего воздуха.

В работе [37] предложен алгоритм прогнозирования риска природных пожаров на предприятии деревообрабатывающей промышленности для принятия решения по обеспечению пожарного аудита, соблюдения уровня пожарного риска объектов данной отрасли. Построены также новые математические модели факторов, определяющих риск возникновения природного пожара, с учетом многокритериальности данного процесса.

В исследовании [38] разработаны динамическая модель описания управления риском в различных условиях обстановки и метод оценки эффективности управления деятельностью подсистем Российской единой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) различных уровней.

Уточнение формул для расчета вероятности эффективной работы системы противопожарной защиты с целью обеспечения безопасной эвакуации

**Таблица 1.** Листинг расчета индекса риска пожара в России за 2010 г.

№ п/п	Регион	Риск
1	Приморский край	3,16
2	Хабаровский край	3,08
3	Еврейская автономная область	3,05
4	Магаданская область	2,69
5	Республика Карелия	2,38
6	Ленинградская область	2,29
7	Амурская область	2,19
8	Сахалинская область	2,16
9	Новгородская область	2,14
10	Камчатский край	2,02
11	Псковская область	1,93
12	Калининградская область	1,82
13	Забайкальский край	1,81
14	Архангельская область	1,80
15	Республика Саха (Якутия)	1,76
16	Курганская область	1,75
17	Ханты-Мансийский авт. округ – Югра	1,72
18	Республика Алтай	1,68
19	Смоленская область	1,67
20	Красноярский край	1,66
21	Алтайский край	1,65
22	Иркутская область	1,61
23	Кировская область	1,61
24	Брянская область	1,60
25	Республика Коми	1,59
26	Ярославская область	1,54
27	Республика Марий Эл	1,54
28	Республика Тыва	1,52
29	Ямало-Ненецкий автономный округ	1,51
30	Мурманская область	1,51
<b>Индекс риска пожара</b>		<b>1,95</b>

людей при пожаре и вероятности эвакуации людей из здания, а также величины индивидуального пожарного риска приведено в работе [39].

В работе [40] показано, что оценку величины пожарного риска для общественных зданий проводят только на основе расчета воздействия на людей поражающих факторов пожара и принятия мер по снижению частоты их возникновения и последствий.

В работе [41] выявлены ограничения и ошибки в методике расчета рисков [24], проанализировано влияние параметров, входящих в формулу для расчета индивидуального пожарного риска.

По результатам исследований проведена корректировка методики расчета пожарного риска,

**Таблица 2.** Листинг расчета индекса риска пожара в России за 2011 г.

№ п/п	Регион	Риск
1	Приморский край	3,10
2	Хабаровский край	2,92
3	Еврейская автономная область	2,89
4	Магаданская область	2,70
5	Республика Карелия	2,34
6	Амурская область	2,16
7	Сахалинская область	2,08
8	Новгородская область	2,06
9	Ленинградская область	2,06
10	Камчатский край	2,03
11	Псковская область	1,84
12	Забайкальский край	1,79
13	Архангельская область	1,76
14	Республика Тыва	1,73
15	Республика Алтай	1,66
16	Курганская область	1,66
17	Красноярский край	1,65
18	Алтайский край	1,63
19	Калининградская область	1,62
20	Брянская область	1,57
21	Республика Саха (Якутия)	1,57
22	Иркутская область	1,54
23	Ханты-Мансийский авт. округ – Югра	1,53
24	Смоленская область	1,50
25	Мурманская область	1,50
26	Кировская область	1,49
27	Тюменская область	1,46
28	Республика Коми	1,45
29	Ярославская область	1,45
30	Кемеровская область	1,43
<b>Индекс риска пожара</b>		<b>1,87</b>

**Таблица 3.** Листинг расчета индекса риска пожара в России за 2012 г.

№ п/п	Регион	Риск
1	Приморский край	2,91
2	Хабаровский край	2,79
3	Еврейская автономная область	2,29
4	Магаданская область	2,27
5	Республика Карелия	2,27
6	Амурская область	2,05
7	Ленинградская область	1,99
8	Камчатский край	1,98
9	Сахалинская область	1,94
10	Новгородская область	1,85
11	Псковская область	1,76
12	Забайкальский край	1,74
13	Архангельская область	1,73
14	Республика Тыва	1,72
15	Республика Алтай	1,69
16	Красноярский край	1,68
17	Курганская область	1,65
18	Калининградская область	1,61
19	Брянская область	1,54
20	Алтайский край	1,51
21	Ханты-Мансийский авт. округ – Югра	1,50
22	Кировская область	1,49
23	Республика Саха (Якутия)	1,48
24	Иркутская область	1,47
25	Тюменская область	1,43
26	Ярославская область	1,42
27	Республика Бурятия	1,41
28	Республика Коми	1,40
29	Новосибирская область	1,40
30	Омская область	1,39
<b>Индекс риска пожара</b>		<b>1,78</b>

утвержденной приказом МЧС России № 749 от 12.12.2011 г. [42].

Информация по числу пожаров в Российской Федерации в период 2010–2014 гг., приходящихся на 10 тыс. чел., дана в работах [43–45]. После деления этих показателей на 10 получим величину пожарного риска  $R_1$ .

Категорирование регионов Российской Федерации по риску пожара позволит сравнивать ситуацию с риском пожара в регионах. При этом регионы целесообразно разделить на две группы — опасные и кризисные. Для группы опасных регионов необходимо будет разрабатывать программы по снижению риска пожара, а для группы кризисных регионов —

принимать срочные и неотложные меры в этом направлении.

В экономике и финансах для оценки состояния активно применяется индекс Доу-Джонса [46, 47]. Возможность использования аналогичного подхода для оценки пожарной опасности показана в работах [48–57].

Методика расчета индекса риска пожара достаточно проста. На первом этапе регионы РФ ранжируются в порядке убывания значения риска пожара. Затем из них отбираются 30 регионов с максимальными значениями данного показателя, которые и попадают в листинги расчета индекса риска пожара (табл. 1–5). Они относятся к первой категории реги-

**Таблица 4.** Листинг расчета индекса риска пожара в России за 2013 г.

№ п/п	Регион	Риск
1	Приморский край	2,84
2	Хабаровский край	2,68
3	Магаданская область	2,22
4	Республика Карелия	2,14
5	Еврейская автономная область	1,94
6	Камчатский край	1,93
7	Новгородская область	1,90
8	Амурская область	1,87
9	Ленинградская область	1,84
10	Сахалинская область	1,83
11	Архангельская область	1,76
12	Республика Тыва	1,64
13	Красноярский край	1,60
14	Курганская область	1,59
15	Забайкальский край	1,57
16	Республика Алтай	1,57
17	Брянская область	1,52
18	Псковская область	1,49
19	Алтайский край	1,49
20	Калининградская область	1,48
21	Иркутская область	1,39
22	Тюменская область	1,37
23	Ярославская область	1,37
24	Республика Бурятия	1,37
25	Кировская область	1,36
26	Республика Саха (Якутия)	1,36
27	Мурманская область	1,36
28	Кемеровская область	1,33
29	Ямало-Ненецкий автономный округ	1,32
30	Ханты-Мансийский авт. округ – Югра	1,32
<b>Индекс риска пожара</b>		<b>1,68</b>

онов, которая будет считаться в дальнейшем опасной. Индекс риска пожара рассчитывается путем усреднения показателей регионов, попавших в листинг. Предложенная методика выделения опасной группы регионов позволяет четко определить регионы РФ, для которых необходима разработка программ по снижению риска пожара.

Кроме того, среди опасных регионов, вошедших в листинг, можно выделить вторую категорию регионов — кризисную (в табл. 1–5 выделена фоном). В эту группу будут попадать регионы со значением риска, превышающим величину индекса.

Кризисная группа не имеет заранее заданного числа членов: количество попавших в нее регионов

**Таблица 5.** Листинг расчета индекса риска пожара в России за 2014 год

№ п/п	Регион	Риск
1	Приморский край	2,75
2	Хабаровский край	2,65
3	Магаданская область	2,22
4	Республика Карелия	2,09
5	Камчатский край	1,94
6	Новгородская область	1,93
7	Еврейская автономная область	1,90
8	Амурская область	1,84
9	Ленинградская область	1,82
10	Сахалинская область	1,70
11	Архангельская область	1,67
12	Республика Тыва	1,63
13	Красноярский край	1,59
14	Курганская область	1,58
15	Забайкальский край	1,57
16	Республика Алтай	1,53
17	Брянская область	1,51
18	Псковская область	1,50
19	Калининградская область	1,46
20	Алтайский край	1,41
21	Иркутская область	1,39
22	Республика Хакасия	1,38
23	Ярославская область	1,37
24	Республика Марий Эл	1,37
25	Кировская область	1,36
26	Республика Бурятия	1,35
27	Тюменская область	1,33
28	Мурманская область	1,32
29	Смоленская область	1,30
30	Республика Саха (Якутия)	1,27
<b>Индекс риска пожара</b>		<b>1,66</b>

зависит от ситуации с пожарами. В этих регионах требуется “антикризисное управление”, направленное на оперативное снижение показателей риска. Для рассмотренных нами статистических данных за период 2010–2013 гг. в кризисную группу попали 10 регионов, а в 2014 г. — 11 (см. табл. 1–5).

В 2010 г. в кризисную группу вошли: Приморский и Хабаровский края; Еврейская автономная и Магаданская области; Республика Карелия; Ленинградская, Амурская, Сахалинская и Новгородская области; Камчатский край. В 2011–2013 гг. изменилось только распределение мест регионов в приведенном списке. В 2014 г. кризисную группу пополнила Архангельская область.

**Таблица 6.** Места регионов в листинге расчета индекса риска пожара в период 2010–2014 гг.

Окончание табл. 6

№ п/п	Регион	Год				
		2010	2011	2012	2013	2014
<i>Центральный ФО</i>						
1	Брянская область	24	20	19	17	17
2	Смоленская область	19	24			29
3	Ярославская область	26	29	26	23	23
<i>Северо-Западный ФО</i>						
4	Республика Карелия	5	5	5	4	4
5	Республика Коми	25	28	28		
6	Архангельская область	14	13	13	11	11
7	Калининградская область	12	19	18	20	19
8	Ленинградская область	6	9	7	9	9
9	Мурманская область	30	25		27	28
10	Новгородская область	9	8	10	7	6
11	Псковская область	11	11	11	18	18
<i>Дальневосточный ФО</i>						
12	Республика Саха (Якутия)	15	21	23	26	30
13	Камчатский край	10	10	8	6	5
14	Приморский край	1	1	1	1	1
15	Хабаровский край	2	2	2	2	2
16	Амурская область	7	6	6	8	8
17	Магаданская область	4	4	4	3	3
18	Сахалинская область	8	7	9	10	10
19	Еврейская автономная область	3	3	3	5	7
<i>Сибирский ФО</i>						
20	Республика Алтай	18	15	15	16	16
21	Республика Бурятия			27	24	26
22	Республика Тыва	28	14	14	12	12
23	Республика Хакасия					22
24	Алтайский край	21	18	20	19	20
25	Забайкальский край	13	12	12	15	15
26	Красноярский край	20	17	16	13	13
27	Иркутская область	22	22	24	21	21
28	Кемеровская область		30		28	
29	Новосибирская область			29		
30	Омская область			30		
<i>Уральский ФО</i>						
31	Курганская область	16	16	17	14	14
32	Тюменская область		27	25	22	27

№ п/п	Регион	Год				
		2010	2011	2012	2013	2014
33	Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	17	23	21	30	
34	Ямало-Ненецкий автономный округ	29			29	
<i>Приволжский ФО</i>						
35	Республика Марий Эл	27				24
36	Кировская область	23	26	22	25	25

Примечание. Пустые ячейки означают, что данный регион в указанном году в листинг расчета риска пожара не попал.

Анализ мест регионов в листинге расчета индекса риска пожара в Российской Федерации за 2010–2014 гг. показал стабильность ситуации (табл. 6). Первое место в этот период занимал Приморский край, второе — Хабаровский, третье в 2010–2012 гг. — Еврейская автономная область, в 2013 и 2014 гг. — Магаданская.

Из табл. 6 видно, что в целом неблагоприятная обстановка характерна для Дальневосточного федерального округа (ДФО). В Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) в состав кризисной группы (выделена фоном) часто попадают Республика Карелия, Ленинградская и Новгородская области. Отметим, что в Центральном (ЦФО), Сибирском (СФО), Уральском (УрФО) и Приволжском (ПФО) федеральных округах нет кризисных регионов, а регионы из Южного и Северо-Кавказского федеральных округов в листинг расчета индекса риска пожара в 2010–2014 гг. вообще не попали. Наблюдаемая стабильность мест регионов в листинге расчета индекса риска пожара показывает наличие системных проблем в организации обеспечения пожарной безопасности в регионах.

Отсутствие заметных изменений внутри списка кризисной группы регионов в 2010–2014 гг. показывает недостаточность мер, принимаемых в области обеспечения пожарной безопасности в данных регионах.

По частоте попадания регионов в листинг расчета индекса риска пожара можно выделить шесть категорий регионов. В первую категорию входят регионы, попавшие в листинг 5 раз, во вторую — 4 раза, в третью — 3 раза, в четвертую — 2 раза, в пятую — 1 раз. В последнюю шестую категорию входят регионы, которые в 2010–2014 гг. в листинг не попали ни разу (табл. 7).

По частоте попадания регионов в кризисную группу также можно выделить шесть категорий регионов. В первую категорию входят регионы, по-

**Таблица 7.** Частота попадания регионов в листинг расчета индекса риска пожара

Категория	Регионы	Частота
1	Брянская, Ярославская области (ЦФО); Республика Карелия, Архангельская, Калининградская, Ленинградская, Новгородская, Псковская области (СЗФО); Республика Саха (Якутия), Камчатский, Приморский, Хабаровский края, Амурская, Магаданская, Сахалинская, Еврейская автономная области (ДФО); Республики Алтай, Тыва, Алтайский, Забайкальский, Красноярский края, Иркутская область (СФО); Курганская область (УрФО); Кировская область ( ПФО)	0,033
2	Мурманская область (СЗФО); Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (УрФО)	0,027
3	Смоленская область (ЦФО); Республика Коми (СЗФО); Республика Бурятия (СФО)	0,02
4	Кемеровская область (СФО); Ямало-Ненецкий автономный округ (УрФО); Республика Марий Эл (ПФО)	0,013
5	Республика Хакасия, Новосибирская, Омская области (СФО)	0,007
6	Все остальные регионы РФ, не попавшие в категории 1–5	0

павшие в кризисную группу 5 раз, во вторую — 4 раза, в третью — 3 раза, в четвертую — 2 раза, в пятую — 1 раз. В последнюю шестую категорию входят регионы, которые в 2010–2014 гг. в кризисную группу не попали (табл. 8).

По результатам 2010–2014 гг. в кризисной группе не оказалось регионов, вошедших во вторую, третью и четвертую категории (см. табл. 8). В случае изменения обстановки возможно появление в перечисленных категориях некоторых регионов РФ.

Таким образом, рассчитаны индексы риска пожара в регионах Российской Федерации за период 2010–2014 гг. Выделены опасная и кризисная группы регионов. Вычислены частоты попадания регионов РФ в листинг расчета индекса риска пожара за 2010–2014 гг., а также в кризисную группу. Полученные результаты могут быть использованы для

**Таблица 8.** Частота попадания регионов в кризисную группу

Категория	Регионы	Частота
1	Республика Карелия, Ленинградская, Новгородская области (СЗФО); Камчатский, Приморский, Хабаровский края, Амурская, Магаданская, Сахалинская, Еврейская автономная области (ДФО)	0,098
2	–	0
3	–	0
4	–	0
5	Архангельская область (СЗФО)	0,02
6	Все остальные регионы РФ, не попавшие в категории 1–5	0

формирования программ снижения рисков в регионах, попавших в опасную и кризисную категории.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Knight F. H. Risk, uncertainty and profit. — Chicago : Houghton Mifflin Company, 1921. — 235 p.
2. Хохлов Н. В. Управление риском : учебное пособие для вузов. — М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 239 с.
3. Акимов В. А., Порфирьев Б. Н. Кризисы и риск: к вопросу взаимосвязи категорий // Проблемы анализа риска. — 2004. — Т. 1, № 1. — С. 38–49.
4. Вишняков Я. Д., Радаев Н. Н. Общая теория рисков : учеб. пособие для студ. вузов. — М. : Изд. центр “Академия”, 2008. — 368 с.
5. Глущенко В. В. Риски инновационной и инвестиционной деятельности в условиях глобализации. — Железнодорожный : ООО “НПЦ Крылья”, 2006. — 230 с.
6. Кирюшкин В. Е., Ларионов И. В. Основы риск-менеджмента. — М. : Анкил, 2009. — 130 с.
7. Мадера А. Г. Риски и шансы: неопределенность, прогнозирование и оценка. — М. : УРСС, 2014. — 448 с.
8. Глущенко В. В. Введение в кризисологию. Финансовая кризисология. Антикризисное управление. — М. : ИП Глущенко В. В., 2008. — 88 с.
9. Глущенко В. В. Управление рисками. Страхование. — Железнодорожный : ООО “НПЦ Крылья”, 1999. — 336 с.
10. Халл Джон К. Опционы, фьючерсы и другие производные финансовые инструменты. — М. : Вильямс, 2012. — 869 с.
11. Владимиров В. А., Измалков В. И., Измалков А. В. Оценка рисков и управление техногенной безопасностью. — М. : Деловой экспресс, 2002. — 184 с.
12. Акимов В. А., Лесных В. В., Радаев Н. Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах : учебное пособие. — М. : Деловой экспресс, 2004. — 352 с.

13. ГОСТ Р 51901–2002. Управление надежностью. Анализ риска технических систем. — Введ. 01.09.2003. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. — 21 с.
14. *Брушлинский Н. Н., Глуховенко Ю. М.* Оценка рисков пожаров и катастроф // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — М. : ВИНТИ, 1992. — вып. 1. — С. 13–39.
15. *Брушлинский Н. Н.* О понятии пожарного риска и связанных с ним понятиях // Пожарная безопасность. — 1999. — № 3. — С. 83–85.
16. *Брушлинский Н. Н.* Снова о рисках и управлении безопасностью систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — М. : ВИНТИ, 2002. — Вып. 4 — С. 230–234.
17. *Брушлинский Н. Н., Клепко Е. А.* К вопросу о вычислении рисков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — М. : ВИНТИ, 2004. — Вып. 1. — С. 71–73.
18. *Артамонов В. С.* Основные положения теории управления риском // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2004. — № 14. — С. 22–26.
19. *Брушлинский Н. Н., Глуховенко Ю. М., Коробко В. Б., Соколов С. В., Вагнер П., Лунанов С. А., Клепко Е. А.* Пожарные риски. Вып. 1: Основные понятия / Под ред. Н. Н. Брушлинского. — М. : Национальная академия пожарной безопасности, 2004. — 47 с.
20. Пожарные риски. Динамика, управление, прогнозирование / Под ред. Н. Н. Брушлинского, Ю. Н. Шебеко. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2007. — 370 с.
21. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В.* Роль статистики пожаров в оценке пожарных рисков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2012. — № 1. — С. 112–124.
22. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 10.07.2012) : Федер. закон РФ 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.
23. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска : постановление Правительства РФ от 31.03.2009 № 272; введ. 01.05.2009 // Собр. законодательства РФ. — 2009. — № 14, ст. 1656.
24. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : утв. приказом МЧС РФ от 30.06.2009 № 382; введ. 30.06.2009 // Российская газета. — 2009. — № 161.
25. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : утв. приказом МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (в ред. приказа МЧС РФ от 14.12.2010 № 649); введ. 04.03.2011. — М. : МЧС РФ, 2011. — 55 с.
26. *Фирсов А. В., Крюков Е. В., Харисов Г. Х.* О нормативном значении индивидуального пожарного риска // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 14–16.
27. *Фирсов А. В.* Об определении расчетных величин индивидуального пожарного риска // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2012. — № 4. — С. 27–34.
28. *Фирсов А. В.* Модели и алгоритмы обоснования величины индивидуального пожарного риска для управления безопасностью людей в зданиях и сооружениях : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2013. — 296 с.
29. *Бакиров И. К.* Совершенствование методов оценки пожарных рисков объектов с твердыми горючими материалами : дис. ... канд. техн. наук. — Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2012. — 135 с.
30. *Бакиров И. К.* Разработка метода оценки пожарных рисков твердых горючих веществ и материалов на производственных и складских объектах // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 35–41.
31. *Бакиров И. К.* Влияние на пожарные риски вопросов, связанных с пожарной безопасностью в строительстве // Пожарная безопасность в строительстве. — 2010. — № 4. — С. 24–25.
32. *Бакиров И. К.* Отношение к пожарной безопасности в России, государственный пожарный надзор и пожарные риски // Пожарная безопасность в строительстве. — 2010. — № 5. — С. 28–29.
33. *Магулян Г. Г.* Управление пожарным риском на основе системы страхования : дис. ... канд. техн. наук. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2009. — 139 с.
34. *Оськин А. А.* Разработка метода оценки индивидуального пожарного риска резервуарных парков с использованием теории нечетких множеств : дис. ... канд. техн. наук. — Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2012. — 156 с.
35. *Некрасов Д. П.* Модели и алгоритмы управления пожарными рисками в жилом секторе крупных городов : дис. ... канд. техн. наук. — Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2011. — 135 с.

36. *Сатюков Р. С.* Влияние природно-климатических условий местности на потенциальную пожарную опасность резервуарных парков для хранения нефти : дис. ... канд. техн. наук. — Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2013. — 141 с.
37. *Озерова М. И.* Методы и алгоритмы мониторинга и прогнозирования риска природных пожаров на объектах деревообрабатывающей промышленности : дис. ... канд. техн. наук. — Владимир : Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, 2013. — 150 с.
38. *Матвеев А. В.* Системное моделирование управления риском возникновения чрезвычайных ситуаций : дис. ... канд. техн. наук. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2007. — 150 с.
39. *Седов Д. В.* Уточнение методики расчета индивидуального пожарного риска // Пожарная безопасность. — 2010. — № 2. — С. 116–122.
40. *Корольченко А. Я., Бушманов С. А.* Количественная оценка величины пожарного риска // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 6. — С. 27–29.
41. *Федорец А. Г.* Практические вопросы применения и совершенствования методики оценки пожарных рисков // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 8. — С. 64–71.
42. О внесении изменений в методику определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различной функциональной пожарной опасности, утвержденную приказом МЧС России от 30.06.2009 : приказ МЧС России от 12.12.2011 № 749; введ. 26.05.2012 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2012. — № 13. URL: <http://jurizdat.ru/editions/official/bnafoiv/archive/2012/13.htm> (дата обращения: 02.07.2015).
43. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году : статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ВНИИПО, 2012. — 137 с.
44. Пожары и пожарная безопасность в 2012 году : статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ВНИИПО, 2013. — 137 с.
45. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году : статистический сборник / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2015. — 124 с.
46. *O'Sullivan A., Sheffrin S. M.* Economics: Principles in Action. — Boston : Pearson Prentice Hall, 2007. — 609 p.
47. *Anderson B.* Economics and the public welfare. Financial and economic history of the United States, 1914–1946. — New York : Liberty Press, 1979. — P. 219.
48. *Кайбичев И. А.* Аналоги индекса Доу-Джонса в статистике пожаров // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации : V Всероссийская научно-практическая конференция (26 октября 2011 г.). — Екатеринбург : УрИ ГПС МЧС России, 2011. — Ч. 1. — С. 104–109.
49. *Кайбичев И. А.* Подход Доу-Джонса в статистике пожаров // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: теория и практика : Материалы II Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. Р. Н. Минниханова. — Казань : Научный центр безопасности жизнедеятельности детей, 2012. — Ч. II. — С. 639–646.
50. *Кайбичев И. А.* Индекс возгораний // Безопасность критичных инфраструктур и территорий : Материалы V Всероссийской научно-практической конференции и XV Школы молодых ученых. — Екатеринбург : УрО РАН, Изд-во АМБ, 2012. — С. 124–125.
51. *Кайбичев И. А.* Индекс возгораний в рамках подхода Доу-Джонса // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института : тезисы докладов. — М. : ВНИИПО, 2012. — Ч. 3. — С. 199–202.
52. *Кайбичев И. А., Орлов С. А.* Индексы пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 6. — С. 50–54.
53. *Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А.* Индекс числа лесных пожаров в Российской Федерации за 2006–2010 годы // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 45–51.
54. *Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А.* Индекс площади лесных пожаров в России в 2006–2010 гг. // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2013. — Вып. 2(48). — 7 с.
55. *Kaibichev I. A., Kaibicheva E. I.* Fire number index in rural terrain in Russian Federation for 2006–2010 years // Safety engineering in function of improvement of the working conditions: Proceedings. Ohrid, 10–12 May, 2013. Republic of Makedonia, “St. Cyril and Methodius” University in Skopje, Faculty of Mechanical Engineering, Ohrid, 2013. — P. 136–140.
56. *Кайбичева Е. И., Кайбичев И. А.* Индекс пожарной опасности в сельской местности Российской Федерации в 2006–2011 годах // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2013. — № 2. — С. 58–62.

57. *Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И.* Индексы пожарного риска в Российской Федерации // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 5, — С. 56–61.

*Материал поступил в редакцию 17 июля 2015 г.*

**Для цитирования:** *Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И., Рыбаков Ю. С.* Индекс риска пожара в Российской Федерации в 2010–2014 годах // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 63–74. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.63-74.

English

## FIRE RISK INDEX IN RUSSIAN FEDERATION IN 2010–2014 YEARS

**KAIBICHEV I. A.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associated Professor, Professor, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: Kaibichev@mail.ru)

**KAIBICHEVA E. I.**, Heard Specialist, Territorial Organ of Federal Service of State Statistics on Sverdlovsk Area "Sverdlovskstat" (Tolmacheva St., 23, Yekaterinburg, 620041, Russian Federation)

**РЫБАКОВ Ю. С.**, Doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher of Research Group, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

### ABSTRACT

As a result called on review of the scientific studies in the field of risk and fireman of the risk is shown regions category need in Russian Federation on fire risk. This will allow to compare the situation with risk of the fire in region. The authors consider expedient to select two groups region (dangerous and crisis). In group dangerous region will be necessary to develop the program on reduction of the fire risk, but in crisis group — take urgent and priority measures. In economy and finance for estimation of the Dow Jones Average is actively used. The similar approach possible fireman for estimation to dangers. The methods of the calculation of the index of the fire risk is enough simple. On the first stage regions Russian Federation are ranked in order of the decrease of importance of the fire risk. Then 30 regions with maximum importances of the fire risk factor are selected. They form the listings of the calculation of the fire risk index and the first category of the countries, which is considered dangerous.

The fire risk index pays by averaging the factors region in listings. The offered methods of the highlighting of the dangerous group region allows clearly to define the regions Russia for which necessary development of the programs of the reduction of the risk. Except this amongst groups dangerous region, came in listings, the second category a region may be selected — a crisis group. The regions will get in this group with importance of the risk exceeding value of the index. The computed frequencies of the hit region Russia in listings of the calculation of the fire risk index for 2010–2014, as well as in crisis group. The got results useful for shaping the programs of the reduction risk in region in dangerous and crisis categories.

**Keywords:** statics of fires; Dow Jones Average; fireman risk; fire risk index; regions category.

### REFERENCES

1. Knight F. H. *Risk, uncertainty and profit*. Chicago, Houghton Mifflin Company, 1921. 235 p.
2. Hokhlov N. V. *Upravleniye riskom* [Risk Management]. Moscow, YuNITI-DANA Publ., 2001. 239 p.
3. Akimov V. A., Porfiryev B. N. Krizisy i risk: k voprosu vzaimosvyazi kategoriy [Crises and risk: on the issue of the concepts' interrelationship]. *Problemy analiza riska — Issues of Risk Analysis*, 2004, vol. 1, no. 1, pp. 38–49.
4. Vishnyakov Ya. D., Radaev N. N. *Obshchaya teoriya riskov* [General theory risk]. Moscow, Izdatelskiy centr "Akademiya", 2008. 368 p.
5. Glushchenko V. V. *Riski innovatsionnoy i investitsionnoy deyatelnosti v usloviyakh globalizatsii* [Risks innovation and investment activity in condition of globalization]. Zheleznodorozhnyy, OOO NPC Krylya Publ., 2006. 230 p.



6. Kiryushkin V. E., Larionov I. V. *Osnovy risk-menedzhmenta* [Management risk. Bases]. Moscow, Ankil Publ., 2009. 130 p.
7. Madera A. G. *Riski i shansy: neopredelennost, prognozirovaniye i otsenka* [Risks and chances: uncertainty, forecasting and estimation]. Moscow, URSS Publ., 2014. 448 p.
8. Glushchenko V. V. *Vvedeniye v krizisologiyu. Finansovaya krizisologiya. Antikrizisnoye upravleniye* [Introduction to crisislogics. Financial crisislogics. Anticrisis management]. Moscow, IP Glushchenko V. V. Publ., 2008. 88 p.
9. Glushchenko V. V. *Upravleniye riskami. Strakhovaniye* [Management risk. Insurance]. Zheleznodorozhnyy, OOO NPC Krylya Publ., 1999. 336 p.
10. Hull John C. *Optsiony, fyuchersy i drugiyе proizvodnyye finansovyе instrumenty* [Options, Futures and Other Derivatives]. Moscow, Vilyams Publ., 2012. 869 p.
11. Vladimirov V. A., Izmalkov V. I., Izmalkov A. V. *Otsenka riskov i upravleniye tekhnogennoy bezopasnostyu* [Estimation risk and technological safety management]. Moscow, Delovoy ekspress Publ., 2002. 184 p.
12. Akimov V. A., Lesnykh V. V., Radaev N. N. *Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoy i tekhnogennoy sferakh* [The bases of the analysis and risk management in natural and technogenic sphere]. Moscow, Delovoy ekspress Publ., 2004. 352 p.
13. *State Standard of Russian Federation 51901–2001. Dependability management. Risk analysis of technological systems*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2002. 21 p. (in Russian).
14. Brushlinskiy N. N., Glukhovenko Yu. M. Otsenka riskov pozharov i katastrof [Estimation risk fire and catastrophes]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Safety and Emergencies Problems*, 1992, issue 1, pp. 13–39.
15. Brushlinskiy N. N. O ponyatii pozharnogo riska i svyazannykh s nim ponyatiyakh [About notion fire risk and notion in accordance with him]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 1999, no. 3, pp. 83–85.
16. Brushlinskiy N. N. Snova o riskakh i upravlenii bezopasnostyu sistem [Once again about risk and system safety management]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Safety and Emergencies Problems*, 2002, issue 4, pp. 230–234.
17. Brushlinskiy N. N., Klepko E. A. K voprosu o vychislenii riskov [To question about calculation risk]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Safety and Emergencies Problems*, 2004, issue 1, pp. 71–73.
18. Artamonov V. S. Osnovnyye polozheniya teorii upravleniya riskom [Main positions to theories risk management]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii — Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2004, no. 14, pp. 22–26.
19. Brushlinskiy N. N. (ed.), Glukhovenko Yu. M., Korobko V. B., Sokolov S. V., Vagner P., Lupanov S. A., Klepko E. A. *Pozharnyye riski. Vypusk 1. Osnovnyye ponyatiya* [The Fireman risks. Issue 1. Main notions]. Moscow, Natsionalnaya akademiya pozharnoy bezopasnosti Publ., 2004. 47 p.
20. Brushlinskiy N. N., Shebeko Yu. N. (eds). *Pozharnyye riski. Dinamika, upravleniye, prognozirovaniye* [The fireman risks. Dynamics, management, forecasting]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2007. 370 p.
21. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. Rol statistiki pozharov v otsenke pozharnykh riskov [Importance of fire statistics for determination of fire risks]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy — Safety and Emergencies Problems*, 2012, no. 1, pp. 112–124.
22. On technical regulation for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, No. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
23. About order of the undertaking; calculation on estimation fireman risk: Resolution Government RF on 31.03.2009 No. 272. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2009, no. 14, art. 1656 (in Russian).
24. Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382. *Rossiyskay gazeta — Russian Newspaper*, 2009, No. 161 (in Russian).
25. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404*. Moscow, Emercom RF Publ., 2011. 55 p. (in Russian).
26. Firsov A. V., Kryukov E. V., Kharisov G. H. O normativnom znachenii individualnogo pozharnogo riska [About the regulated level of an individual fire risk]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 14–16.

27. Firsov A. V. Ob opredelenii raschetnykh velichin individualnogo pozharnogo riska [On defining calculated values of individual fire risk]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2012, no. 4. pp. 27–34.
28. Firsov A. V. *Modeli i algoritmy obosnovaniya velichiny individualnogo pozharnogo riska dlya upravleniya bezopasnostyu lyudey v zdaniyakh i sooruzheniyakh. Dis. kand. tekhn. nauk* [The models and algorithms of the motivation of the value individual fireman risk for governing safety people in building and buildings. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2013. 296 p.
29. Bakirov I. K. *Sovershenstvovaniye metodov otsenki pozharnykh riskov obyektov s tverdymi goryuchimi materialami. Dis. kand. tekhn. nauk* [The improvement of the methods of the estimation fireman risk object with hard combustible material. Cand. tech. sci. diss.]. Ufa, Ufa State Petroleum Technological University Publ., 2012. 135 p.
30. Bakirov I. K. Razrabotka metoda otsenki pozharnykh riskov tverdykh goryuchikh veshchestv i materialov na proizvodstvennykh i skladskikh obyektakh [Working of the evaluation method of fire risks of solid combustible substances and materials of manufacturing and storage facilities]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 35–41.
31. Bakirov I. K. Vliyaniye na pozharnyye riski voprosov, svyazannykh s pozharnoy bezopasnostyu v stroitelstve [Influence upon question risk fireman, in accordance with fireman by safety in construction]. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve — Fire Safety in Construction*, 2010, no. 4, pp. 24–25.
32. Bakirov I. K. Otnosheniye k pozharnoy bezopasnosti v Rossii, gosudarstvennyy pozharnyy nadzor i pozharnyye riski [Attitude to fire safety in Russia, state fire fighting service and fire risks]. *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve — Fire Safety in Construction*, 2010, no. 5, pp. 28–29.
33. Magulyan G. G. *Upravleniye pozharnym riskom na osnove sistemy strakhovaniya. Dis. kand. tekhn. nauk* [Management fireman by risk on base of the system of the insurance. Cand. tech. sci. diss.]. Saint Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2009. 139 p.
34. Oskin A. A. *Razrabotka metoda otsenki individualnogo pozharnogo riska rezervuarnykh parkov s ispolzovaniyem teorii nechetkikh mnozhestv. Dis. kand. tekhn. nauk* [The development of the method of the estimation individual fireman risk of reservoirs park with use the theories of the fuzzy sets. Cand. tech. sci. diss.]. Ufa, Ufa State Petroleum Technological University Publ., 2012. 156 p.
35. Nekrasov D. P. *Modeli i algoritmy upravleniya pozharnymi riskami v zhilom sektore krupnykh gorodov. Dis. kand. tekhn. nauk* [Models and algorithms of management fireman risk in dwelling sector large city. Cand. tech. sci. diss.]. Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2011. 135 p.
36. Satyukov R. S. *Vliyaniye prirodno-klimaticheskikh usloviy mestnosti na potentsialnyuyu pozharnuyu opasnost rezervuarnykh parkov dlya khraneniya nefi. Dis. kand. tekhn. nauk* [The influence natural-climatic conditions to terrain on potential fireman danger reservoirs park for keeping of the oils. Cand. tech. sci. diss.]. Ufa, Ufa State Petroleum Technological University Publ., 2013. 141 p.
37. Ozerova M. I. *Metody i algoritmy monitoringa i prognozirovaniya riska prirodnykh pozharov na obyektakh derevoobrabatvayushchey promyshlennosti. Dis. kand. tekhn. nauk* [The methods and algorithms of the monitoring and forecastings of the risk natural fire on object wood processing industry. Cand. tech. sci. diss.]. Vladimir, Vladimir State University named after A. and G. Stoletovs, 2013. 150 p.
38. Matveev A. V. *Sistemnoye modelirovaniye upravleniya riskom vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy. Dis. kand. tekhn. nauk* [System modeling of management risk origin exceeding situation. Cand. tech. sci. diss.]. Saint Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2007. 150 p.
39. Sedov D. V. Utochneniye metodiki rascheta individualnogo pozharnogo riska [Specification of design procedure of personal fire risk]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2010, no. 2, pp. 116–122.
40. Korolchenko A. Ya., Bushmanov S. A. Kolichestvennaya otsenka velichiny pozharnogo riska [Quantitative assessment of fire risk value]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 6, pp. 27–29.
41. Fedorets A. G. Prakticheskiye voprosy primeneniya i sovershenstvovaniya metodiki otsenki pozharnykh riskov [Practical questions of application and improvement of fire risk assessment methodology]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 8, pp. 64–71.
42. About contributing the changes to methods of the determination of the accounting values fireman risk in building, the buildings and constructions different functional fireman to dangers, confirmed by order Emercom of Russia on 30.06.2009. Order of Emercom of Russia on 12.12.2011 No. 749. *Byulleten normativnykh aktov federalnykh organov ispolnitelnoy vlasti — Bulletin of the Normative Acts of Federal Organ Executive Authorities*, 2012, no. 13. Available at: <http://jurizdat.ru/editions/official/bnafoiv/archive/2012/13.htm> (Accessed 2 July 2015) (in Russian).

43. Klimkin V. I. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2011 godu: statisticheskiy sbornik* [The fires and fire safety in 2011. Statistical collection]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2012. 137 p.
44. Klimkin V. I. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2012 godu: statisticheskiy sbornik* [The fires and fire safety in 2012. Statistical collection]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2013. 137 p.
45. Matyushin A. V. (ed.). *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2014 godu: statisticheskiy sbornik* [The fires and fire safety in 2014. Statistical collection]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2015. 124 p.
46. O'Sullivan A., Sheffrin S. M. *Economics: Principles in Action*. Boston, Pearson Prentice Hall, 2007. 609 p.
47. Anderson B. *Economics and the public welfare. Financial and economic history of the United States, 1914–1946*. New York, Liberty Press, 1979, p. 219.
48. Kaibichev I. A. Analogi indeksa Dou-Dzhonsa v statistike pozharov [Analog of the Dow Jones Index in fire statistics]. *Aktualnyye problemy obespecheniya bezopasnosti v Rossiyskoy Federatsii: V Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (26 oktyabrya 2011)* [Actual Problems of Safety Provision in the Russian Federation. V All-Russian Scientific Conference, 26 October 2011]. Yekaterinburg, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia Publ., 2011, part 1, pp. 104–109.
49. Kaibichev I. A. Podkhod Dou-Dzhonsa v statistike pozharov [Approach Dow Jones in fire statistics]. *Sovremennyye problemy bezopasnosti zhiznedeyatelnosti: teoriya i praktika. Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern problems to safety to vital activity: theory and practice. Proceedings of II International Scientifically-Practical Conference]. Kazan, Scientific Center of Security Life of Children Publ., 2012, part II, pp. 639–646.
50. Kaibichev I. A. Indeks vozgoraniy [Index of the inflammation]. *Bezopasnost kritichnykh infrastruktur i territoriy. Materialy V Vserossiyskoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii i XV Shkoly molodykh uchenykh* [Safety of the Critical Infrastructures and Territory. Proceedings of V All-Russian Scientific and Practical Conference and XV School of Young Scientist]. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., Izd-vo AMB, 2012, pp. 124–125.
51. Kaibichev I. A. Indeks vozgoraniy v ramkakh podkhoda Dou-Dzhonsa [Index of the inflammation within the framework of approach Dow Jones]. *XXIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya po problemam pozharnoy bezopasnosti, posvyashchennaya 75-letiyu sozdaniya instituta: Tezisy dokladov* [XXIV International Scientific and Practical Conference on Fire Safety Problems, denoted 75 Anniversary of the Institute. Abstracts]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2012, part 3, pp. 199–202.
52. Kaibichev I. A., Orlov S. A. Indeksy pozharnoy opasnosti [Fire dangers indexes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 6, pp. 50–54.
53. Kaibicheva E. I., Kaibichev I. A. Indeks chisla lesnykh pozharov v Rossiyskoy Federatsii za 2006–2010 gody [Forest fires number index in Russian Federation in 2006–2010 years]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 45–51.
54. Kaibicheva E. I., Kaibichev I. A. Indeks ploshchadi lesnykh pozharov v Rossii v 2006–2010 gg. [Area forest fires index in Russia in 2006–2010 years]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal — Technologies of Technosphere Safety. Internet-journal*, 2013, issue 2(48). 7 p.
55. Kaibichev I. A., Kaibicheva E. I. Fire number index in rural terrain in Russian Federation for 2006–2010 years. Safety engineering in function of improvement of the working conditions / Proceedings, Ohrid, 10–12 May, 2013, Republic of Makedonia, “St. Cyril and Methodius” University in Skopje, Faculty of Mechanical Engineering, Ohrid, 2013, pp. 136–140.
56. Kaibicheva E. I., Kaibichev I. A. Indeks pozharnoy opasnosti v selskoy mestnosti Rossiyskoy Federatsii v 2006–2011 godakh [Fire hazard index in rural areas of the Russian Federation in 2006–2011 years]. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya — Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2013, no. 2, pp. 58–62.
57. Kaibichev I. A., Kaibicheva E. I. Indeksy pozharnogo riska v Rossiyskoy Federatsii [Indexes of fire risk in Russian Federation]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 56–61.

**For citation:** Kaibichev I. A., Kaibicheva E. I., Rybakov U. S. Indeks riska pozhara v Rossiyskoy Federatsii v 2010–2014 godakh [Fire risk index in Russian Federation in 2010–2014 years]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 63–74. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.63-74.

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

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

**Е. Н. ДЕГАЕВ**, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: ICA\_kbs@mgsu.ru)

УДК 614.84.664

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПО СТРУКТУРЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАСТЕКАНИЯ РАБОЧЕГО РАСТВОРА ПО УГЛЕВОДОРОДУ

Представлена классификация пенообразователей, предназначенных для тушения пожаров нефтепродуктов, которая основана на структуре коэффициента растекания водного пенообразующего раствора по поверхности углеводорода. Приведены результаты экспериментальных исследований с использованием различных пенообразователей, отличающихся структурой коэффициента растекания. Установлено, какой из гомологов ряда первичных алкилсульфатов натрия отличается пенообразующей способностью и огнетушащей эффективностью. Выявлено, что снижение величины межфазного натяжения ниже 2,5 мН/м приводит к уменьшению огнетушащей эффективности пены.

**Ключевые слова:** классификация пенообразователей; способы тушения пожаров нефтепродуктов; коэффициент растекания; огнетушащая эффективность; пенообразующая способность.

**DOI:** 10.18322/PVB.2015.24.08.75-80

**В** связи с высокой пожарной опасностью резервуарных парков хранения нефтепродуктов актуальной является тема разработки новых средств и способов тушения их пожаров.

Поскольку тепловой поток, исходящий от горящего резервуара, не дает возможности приблизиться к горящему объекту [1], одним из способов тушения пожаров нефтепродуктов является подача с большого расстояния пены низкой кратности [2]. Для предотвращения смешения пены с нефтепродуктами при падении ее с большой высоты непосредственно на горящую поверхность используются пенообразователи, водные растворы которых обладают особенно низким поверхностным натяжением [3, 4].

В нормативных документах, в том числе в ГОСТ Р 53280.2–2010 “Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 2. Пенообразователи для подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования и методы испытаний”, регламентируются характеристики рабочего раствора пенообразователя: поверхностное натяжение — не более 17,3 мН/м, межфазное — не менее 2,5 мН/м.

При этом предполагается, что коэффициент растекания водного раствора по гептану не должен быть ниже 0,3 мН/м.

В научной литературе отсутствует анализ влияния компонентов, определяющих величину коэффициента растекания водного раствора по гептану, на огнетушащую эффективность пены низкой кратности, а также влияния на огнетушащую эффективность пены ее кратности, высоты падения и способа подачи в основание резервуара.

Наиболее очевидным фактором, обеспечивающим огнетушащую эффективность пены, является поверхностная активность водного раствора на границе с нефтепродуктом [5, 6].

Существующая классификация пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов определяется несколькими нормативными документами. Как правило, предусматривается разделение пенообразователей по химической природе [7, 8]. Потребители слабо разбираются в химической сути пенообразователя, тем более что чаще всего производитель держит в секрете состав его компонентов. В конечном счете потребители интересуют огне-

тушащие и пенообразующие свойства пенообразователя [9]. Эти свойства определяются поверхностной активностью водного раствора на границе с воздухом и на границе с нефтепродуктом, поэтому можно попытаться создать классификацию пенообразователей без учета их химической структуры.

Цель данной работы — на базе комплексных экспериментальных исследований огнетушащей эффективности пены и поверхностной активности на границе с углеводородом разработать классификацию пенообразователей, предназначенных для тушения пожаров нефтепродуктов, основываясь на структуре коэффициента растекания водного пенообразующего раствора по поверхности углеводорода.

Классификация пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов построена на базе второго закона термодинамики, в соответствии с которым самопроизвольное протекание процесса возможно только при условии снижения свободной энергии системы. В случае формирования водной пленки на поверхности углеводородов изменение свободной энергии обусловлено снижением поверхностной энергии в системе *углеводород – водный раствор* с межфазной границей *пленка – углеводород* [10]. Если не принимать во внимание толщину водной пленки в системе *пленка – углеводород*, то изменение поверхностной энергии системы можно выразить разницей соответствующих величин поверхностных натяжений и межфазного натяжения на границе *пленка – углеводород* по известной формуле [11, 12] и оценить по величине коэффициента растекания раствора по углеводороду  $KP_{p/g}$ :

$$KP_{p/g} = \sigma_{\Gamma} - (\sigma_p + \sigma_{mf}), \quad (1)$$

где  $\sigma_p$ ,  $\sigma_{\Gamma}$  — поверхностное натяжение соответственно водного раствора и горючей жидкости;  
 $\sigma_{mf}$  — межфазное натяжение на границе *раствор – углеводород*.

Таким образом, согласно формуле (1) структура коэффициента растекания характеризуется поверхностным натяжением водного раствора, горючей жидкости и межфазным натяжением на границе *раствор – углеводород*.

Предлагаемый вариант классификации пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов по структуре коэффициента растекания рабочего водного раствора по углеводороду включает пять групп:

1 —  $KP_{p/g} > 0$ ;  $\sigma_p < \sigma_{\Gamma}$ ;  $\sigma_{mf} \geq 2,5$  мН/м; фторированный комплекс; эффективен при подслоной подаче в нефтепродукт; образует равновесную водную пленку на углеводороде; характеризуется большим периодом повторного возгорания от открытого источника пламени;

2 —  $KP_{p/g} > 0$ ;  $\sigma_p < \sigma_{\Gamma}$ ;  $\sigma_{mf} < 2,5$  мН/м; фторированный комплекс; при подслоной подаче в нефтепродукт требуется повышенный удельный расход раствора;

3 —  $KP_{p/g} < 0$ ;  $\sigma_p < \sigma_{\Gamma}$ ;  $\sigma_{mf} > 2,5$  мН/м; фторированный комплекс; эффективен при подслоной подаче в нефтепродукт, но не образует равновесной водной пленки на углеводороде; обладает длительным изолирующим действием;

4 —  $KP_{p/g} < 0$ ;  $\sigma_p \gg \sigma_{\Gamma}$ ;  $\sigma_{mf} \gg 2,5$  мН/м; углеводородный комплекс; эффективен при тушении подачей пены на поверхность углеводорода;

5 —  $KP_{p/g} < 0$ ;  $\sigma_p > \sigma_{\Gamma}$ ;  $\sigma_{mf} \geq 2,5$  мН/м; углеводородный комплекс; эффективен при подаче пены на стенку резервуара.

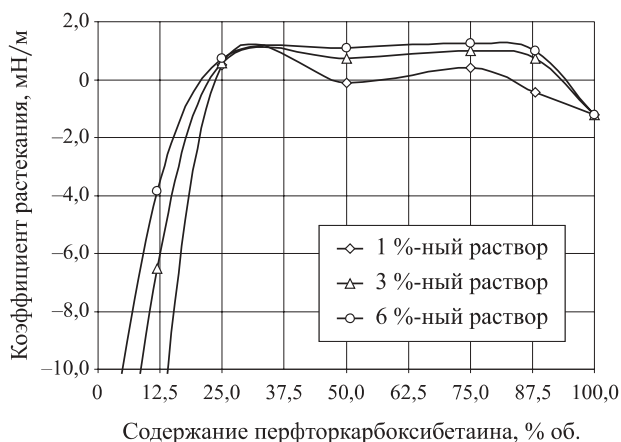
Величина межфазного натяжения 2,5 мН/м, найденная экспериментальным путем, принята в качестве порогового значения и ранее была введена в ГОСТ Р 53280.2–2010.

На базе предложенного варианта классификации были проведены последовательно экспериментальные исследования с использованием пенообразователей, соответствующих перечисленным группам и отличающихся структурой коэффициента растекания.

Наиболее отчетливо роль структуры коэффициента растекания просматривается на растворах пенообразователя, приготовленного на базе углеводородных ПАВ (УПАВ) с добавками фторированного стабилизатора. Такие системы относятся к 1–3-й группам классификации и наглядно иллюстрируют вклад компонентов структуры коэффициента растекания. Из них не всегда можно получить пленкообразующий состав, а в ряде случаев это возможно только в узком диапазоне концентраций компонентов. Так, система, состоящая из УПАВ — децилсульфата натрия и фторированного карбоксибетаина, позволяет получать пленкообразующие составы в ограниченном диапазоне соотношения компонентов.

На рис. 1 представлены изотермы коэффициента растекания водного раствора в зависимости от содержания децилсульфата натрия и перфторкарбоксибетаина в растворе.

Результаты исследований показывают, что положительное значение коэффициента растекания обеспечивается в диапазоне относительного содержания фторированного ПАВ (ФПАВ) от 25 до 85 %. При этом указанная концентрация относится к концентрированному раствору ФПАВ и составляет 4,0 % масс. по активному веществу для рабочего раствора, а концентрация исходного раствора УПАВ — соответственно 25 % масс. по активному веществу. Положительный знак коэффициента растекания обеспечивается растворами с концентрацией 1,5 % и более.



**Рис. 1.** Коэффициент растекания водного раствора концентраций 1, 3 и 6 % по гептану в системе децилсульфат натрия – перфторкарбоксібетаин

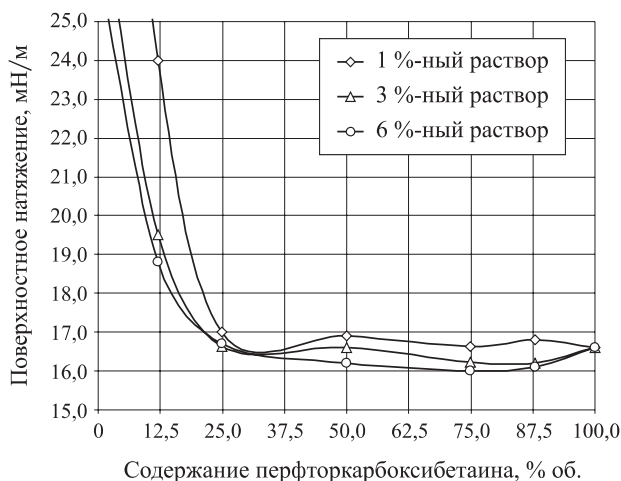
Структура коэффициента растекания представлена графиками поверхностного натяжения растворов на границе с воздухом (рис. 2) и межфазным натяжением на границе *раствор — гептан* (рис. 3). Из приведенных результатов следует, что пенообразующий состав переходит из 1-й группы ( $KP_{p/g} > 0$ ;  $\sigma_p < \sigma_r$ ;  $\sigma_{mf} \geq 2,5$  мН/м) в 3-ю ( $KP_{p/g} < 0$ ;  $\sigma_p < \sigma_r$ ;  $\sigma_{mf} > 2,5$  мН/м). Соответственно, снижается и огнетушащая эффективность этих составов, что показано на рис. 4.

Повышение концентрации рабочих растворов позволяет снизить поверхностное натяжение, что, в свою очередь, скажется на величине коэффициента растекания. Межфазное поверхностное натяжение водного раствора на границе с гептаном снижается с ростом концентрации компонентов в рабочем растворе. Если эффект снижения межфазного натяжения при добавлении углеводородных ПАВ предскажем, то повышение поверхностного натяжения является неожиданным.

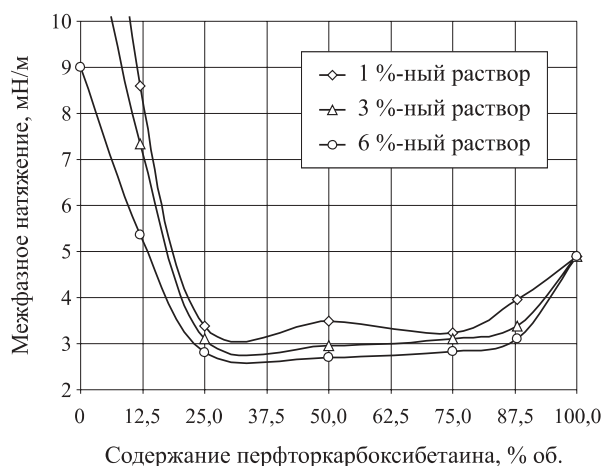
Результаты экспериментов, представленные на рис. 2 и 3, показывают влияние соотношения компонентов и их концентрации на структуру коэффициента растекания (см. рис. 1).

Огнетушащая эффективность исследованных составов характеризуется кривыми зависимости времени тушения и удельного расхода пенообразующего раствора на тушение пламени гептана в модельном резервуаре при подаче пены в его основание, непосредственно в слой углеводорода. Измерения показывают (см. рис. 4), что чем больше положительное значение коэффициента растекания рабочего раствора, тем выше огнетушащая эффективность пены.

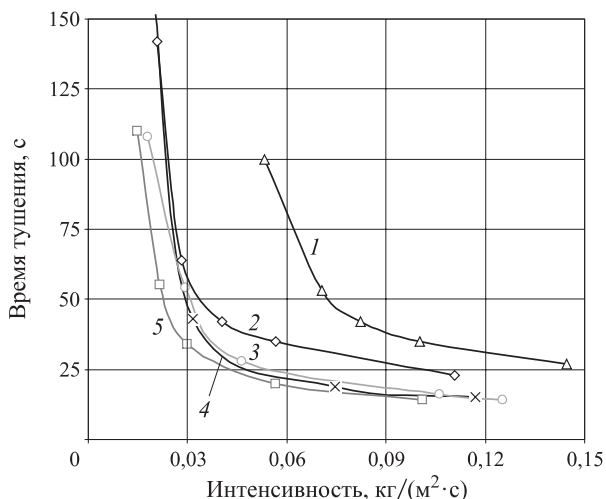
Для пенообразователей 4-й и 5-й групп ( $KP_{p/g} < 0$ ;  $\sigma_p \gg \sigma_r$ ;  $\sigma_{mf} \gg 2,5$  мН/м и  $KP_{p/g} < 0$ ;  $\sigma_p > \sigma_r$ ;  $\sigma_{mf} \geq 2,5$  мН/м), которые относятся к углеводородным пенообразователям и могут использоваться для



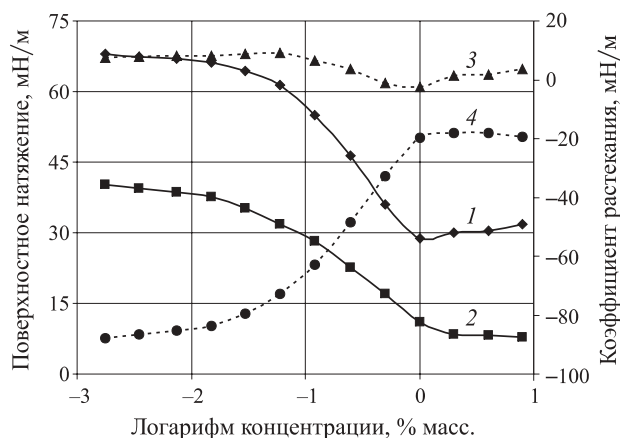
**Рис. 2.** Поверхностное натяжение водного раствора концентраций 1, 3 и 6 % на границе с воздухом в системе децилсульфат натрия – перфторкарбоксібетаин



**Рис. 3.** Межфазное поверхностное натяжение водного раствора концентраций 1, 3 и 6 % на границе с гептаном в системе децилсульфат натрия – перфторкарбоксібетаин



**Рис. 4.** Зависимость времени тушения пламени гептана от интенсивности подачи пены, полученной из рабочих растворов с различным коэффициентом растекания  $KP_{p/g}$ : 1 — -1,0 мН/м; 2 — -0,5 мН/м; 3 — 0,5 мН/м; 4 — 1,0 мН/м; 5 — 1,3 мН/м

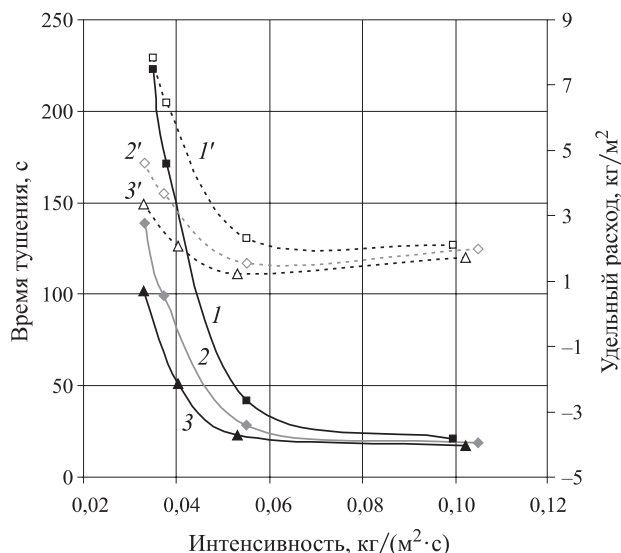


**Рис. 5.** Изотермы поверхностного (1) и межфазного (2) натяжения и коэффициент растекания гептана по раствору (3) и раствора по гептану (4) для растворов пенообразователя — алкилсульфата натрия фракции  $C_8-C_{10}$  ( $KP_{p/g} < 0$ ;  $\sigma_p \gg \sigma_r$ ;  $\sigma_{mf} \gg 2,5$  мН/м)

тушения пламени углеводородов путем подачи пены на поверхность нефтепродукта; проведены комплексные исследования огнетушащей эффективности и поверхностной активности пенообразователей.

В качестве пенообразователей использовали индивидуальные и смесевые углеводородные ПАВ. В большинстве известных углеводородных пенообразователей применяются первичные алкилсульфаты натрия. Исследования проводились с использованием отдельных гомологов ряда первичных алкилсульфатов натрия, включая гексилсульфат, октилсульфат, децилсульфат, додецилсульфат (лаурилсульфат) и смесь додецилсульфата с тетрадецилсульфатами, смесь тетрадецилсульфата с октадецилсульфатом натрия. Необходимо было установить, какой из гомологов отличается пенообразующей способностью и огнетушащей эффективностью. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 5 и 6.

Особенностью поведения алкилсульфатов является наличие положительного значения коэффициента растекания углеводорода по водному раствору



**Рис. 6.** Влияние концентрации пенообразователя 4-й группы — алкилсульфата натрия фракции  $C_8-C_{10}$  на зависимость времени тушения (1–3) и удельного расхода (1'–3') от интенсивности подачи пены на горящую поверхность гептана: 1, 1' — 1,5 %; 2, 2' — 2 %; 3, 3' — 3 %

пенообразователя. На отрезке кривой, характеризующей изменение межфазного натяжения, показано, что его величина снизилась с 11 до 8,3 мН/м, что привело к уменьшению времени тушения пламени гептана со 140 до 55 с, т. е. почти в 3 раза (см. рис. 6).

По огнетушащей эффективности выделяются растворы додецилсульфата натрия (лаурилсульфата натрия), имеющие поверхностное натяжение на границе с воздухом и повышенное межфазное натяжение на границе с гептаном.

Комплексные экспериментальные исследования огнетушащей эффективности пены и поверхностной активности рабочих растворов, полученных из растворов различных пенообразователей, показали возможность деления пенообразователей в соответствии с предложенной классификацией, основанной на анализе структуры коэффициента растекания рабочего раствора пенообразователя по гептану.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Басманов А. Е., Михайлюк А. А. Выбор зон безопасного размещения сил и средств при тушении горящего резервуара // Проблемы пожарной безопасности. — 2007. — Вып. 22. — С. 32–37.
2. Накакуки А. Историческое изучение вопросов тушения пожаров в нефтяных резервуарах, оборудованных системой подачи под слой // Хайкан гидзюцу кэнкю кекайси. — 1981. — Т. 21, № 2. — С. 73–77.
3. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф. Физические параметры пены высокой кратности, используемой при тушении пожаров в закрытых помещениях // Вестник МГСУ. — 2015. — № 2. — С. 85–92.
4. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Vyakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1073–1076. — P. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
5. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Heat balance of extinguishing process of flammable liquid by sprayed water // Advanced Materials Research. — 2014. — Vol. 1070–1072. — P. 1794–1798. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1070-1072.1794.

6. Шароварников А. Ф., Корольченко Д. А. Использование генераторов пены высокой кратности для тушения пожаров в складских помещениях // Научное обозрение. — 2014. — № 9. — Ч. 2. — С. 461–465.
7. Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Овсяников А. А. Тушение пламени модельного пролива пеной высокой кратности // Международная научно-техническая конференция “Юность и знания — гарантия успеха”: сб. науч. тр. — Курск, 2014. — С. 6.
8. Jho S. Spreading of aqueous solutions of a mixture of fluoro- and hydrocarbon surfactants on liquid hydrocarbon substrates // Journal of Colloid and Interface Science. — 1987. — Vol. 117, No. 1. — P. 138–148. DOI: 10.1016/0021-9797(87)90176-7.
9. Воевода С. С., Хинг В. В., Степанов В. Н. Огнетушащие составы для подслоного тушения нефтепродуктов // Организация тушения пожаров и аварийно-спасательных работ: сб. науч. тр. — М.: ВИПТШ МВД России, 1990. — С. 135–139.
10. Салем Р. Р., Шароварников А. Ф. Термодинамика химических, фазовых и электрохимических равновесий. — М.: Знак, 1999. — 393 с.
11. Oke J. L., Antony R. R., Stevens A. B., Lindsay C. Fire extinguishants: their history, properties and use // ICAO Dull. — 1981. — Vol. 36, No. 10. — P. 16–21.
12. Поверхностное натяжение и свободная поверхностная энергия вещества. URL: <http://nanostr.ru> (дата обращения: 10.05.2015).

*Материал поступил в редакцию 20 мая 2015 г.*

**Для цитирования:** Корольченко Д. А., Шароварников А. Ф., Дегаев Е. Н. Классификация пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов по структуре коэффициента растекания рабочего раствора по углеводороду // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 8. — С. 75–80. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.75-80.

English

## CLASSIFICATION OF FOAMING AGENTS FOR EXTINGUISHING OF FIRES OF OIL PRODUCTS TAKING INTO ACCOUNT THE STRUCTURE OF SPREADING COEFFICIENT OF WORKING SOLUTION OVER HYDROCARBON

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

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

**DEGAEV E. N.**, Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA\_kbs@mgsu.ru)

### ABSTRACT

Classification of foaming agents, intended for extinguishing of fires of oil products, which is based on the structure of spreading coefficient of water foam-forming solution over hydrocarbon surface is presented. Results of experimental studies using various foaming agents with different structure of spreading coefficient are given. It is determined which of homologs of a number of sodium primary alkylsulfates differ in foaming capacity and fire extinguishing efficiency. It is revealed that decrease of interfacial tension value leads to reduction of extinguishing time of a heptane flame.

**Keywords:** classification of foaming agents; methods of extinguishing of oil products fires; spreading coefficient; extinguishing efficiency; foaming capacity.



## REFERENCES

1. Basmanov A. E., Mikhaylyuk A. A. Vybory zon bezopasnogo razmeshcheniya sil i sredstv pri tushenii goryashchego rezervuara [Sampling of zones of safe placement of forces and means during suppression of a burning tank]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti — Problems of Fire Safety*, 2007, issue 22, pp. 32–37.
2. Nakakuki A. Istoricheskoye izucheniye voprosov tusheniya pozharov v neftyanykh rezervuarakh, oborudovannykh sistemoy podachi pod sloy [Historical study of problems of extinguishing of fires in oil tanks equipped with system of sublayer supply]. *Haykan gidzyutsu kenkyu kekaysi*, 1981, vol. 21, no. 2, pp. 73–77.
3. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Fizicheskiye parametry peny vysokoy kratnosti, ispolzuyemoy pri tushenii pozharov v zakrytykh pomeshcheniyakh [Physical parameters of high expansion foam used for fire suppression in the enclosed space]. *Vestnik MGSU — Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, 2015, no. 2, pp. 85–92.
4. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Byakov A. V. The analysis of oil suppression by aqueous film forming foam through a gas-salt layer of water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1073–1076, pp. 2353–2357. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1073-1076.2353.
5. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F. Heat balance of extinguishing process of flammable liquid by sprayed water. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1070–1072, pp. 1794–1798. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.1070-1072.1794.
6. Sharovarnikov A. F., Korolchenko D. A. Ispolzovaniye generatorov peny vysokoy kratnosti dlya tusheniya pozharov v skladskikh pomeshcheniyakh [Usage of high-expansion foam generators for extinguishing fires in warehouses]. *Nauchnoye obozreniye — Science Review*, 2014, vol. 9, part 2, pp. 461–465.
7. Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Ovsiyanikov A. A. Tusheniye plameni modelnogo proliva penoy vysokoy kratnosti [Suppression of a model spill's flame by high-expansion foam]. *Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya “Yunost i znaniya — garantiya uspekha”: sb. nauch. tr.* [International Scientific-Technical Conference “Youth and knowledge — guarantee of success”. Collected scientific papers]. Kursk, 2014, p. 6.
8. Jho C. Spreading of aqueous solutions of a mixture of fluoro- and hydrocarbon surfactants on liquid hydrocarbon substrates. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1987, vol. 117, no. 1, pp. 138–148. DOI: 10.1016/0021-9797(87)90176-7.
9. Voevoda S. S., Hing V. V., Stepanov V. N. Ognnetushashchiye sostavy dlya podsloynogo tusheniya nefteproduktov [Fire extinguishing compounds for sublayer suppression of oil products]. *Organizatsiya tusheniya pozharov i avariynno-spasatelnykh rabot: sb. nauch. tr.* [Organization of fire extinguishing and rescue operations. Collected scientific papers]. Moscow, High Engineering Fire Technical School of Ministry of the Interior of Russia Publ., 1990, pp. 135–139.
10. Salem P. P., Sharovarnikov A. F. *Termodinamika khimicheskikh, fazovykh i elektrokhimicheskikh ravnovesiy* [Thermodynamics of chemical, phase and electrochemical equilibriums]. Moscow, Znak Publ., 1999. 393 p.
11. Oke J. L., Antony R. R., Stevens A. B., Lindsay C. Fire extinguishants: their history, properties and use. *ICAO Dull.*, 1981, vol. 36, no. 10, pp. 16–21.
12. *Poverkhnostnoye natyazheniye i svobodnaya poverkhnostnaya energiya veshchestva* [Superficial tension and free superficial energy of a substance]. Available at: <http://nanostr.ru> (Accessed 10 May 2015).

**For citation:** Korolchenko D. A., Sharovarnikov A. F., Degaev E. N. Klassifikatsiya penoobrazovateley dlya tusheniya pozharov nefteproduktov po strukture koeffitsienta rastekaniya rabocheho rastvora po uglevodorodu [Classification of foaming agents for extinguishing of fires of oil products taking into account the structure of spreading coefficient of working solution over hydrocarbon]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 8, pp. 75–80. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.75-80.

**ВОПРОС:**

При разработке проектной и рабочей документации на здания и сооружения в настоящее время принято применять классификацию взрывоопасных зон по “Правилам устройства электроустановок” (ПУЭ-6), утвержденным Министерством энергетики СССР в 70–80-х годах XX века. Документ был дополнен главой 7.3 “Электроустановки во взрывоопасных зонах” (утв. Главтехуправлением и Госэнергонадзором Минэнерго СССР 04.03.1986). По классификации, принятой в ПУЭ-6, применяются следующие коды зон по взрывоопасности: В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг и т. д.

В Федеральном законе № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” применена классификация взрывоопасности (классы опасности: 0, 1, 2; 20, 21, 22 согласно ст. 19 “Классификация взрывоопасных зон”), не совпадающая с классификацией по ПУЭ-6.

Одновременное применение двух классификаций взрывоопасности (по ПУЭ-6 и по ФЗ № 123) при проектировании может вводить пользователей в заблуждение и приводить к несчастным случаям.

Прошу разъяснить, какую классификацию зон по взрывоопасности следует применять при проектировании зданий и сооружений на территории Российской Федерации?

**ОТВЕТ:**

На всей территории Российской Федерации для зданий и сооружений, введенных в эксплуатацию после вступления в силу Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (далее Ф3-123) [1], классификацию взрывоопасных зон следует выполнять в соответствии с данным документом.

При этом необходимо учесть, что в требованиях ГОСТ 30852.9–2002 [2] и ГОСТ ИЕС 60079-10-1–2013 [3] классификация взрывоопасных зон отличается от приведенной в гл. 7.3 “Правил устройства электроустановок” (ПУЭ-6) [4] и ст. 19 Ф3-123 [1].

Так как выбор классов взрывоопасных зон необходим для дальнейшего выбора взрывозащищенного оборудования (Ex-оборудование), то согласно ст. 82 п. 13 Ф3-123 [1] выбор Ex-оборудования для классов взрывоопасных зон должен осуществляться не только по Ф3-123, но и по Техническому регламенту Таможенного союза “О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах” (ТР ТС 012/2011) [5], в перечень которого входят ГОСТ 30852.9–2002 и ГОСТ ИЕС 60079-10-1–2013, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ТР ТС 012/2011.

Отсюда следует, что для корректного выбора Ex-оборудования, безопасно работающего во взрывоопасных зонах, классификацию зон необходимо осуществлять по Ф3-123 [1] с учетом определений классов зон, указанных в пп. 2.4.1–2.4.3 [2] и пп. 3.6–3.8 [3] для газовых сред и п. 6.2 ГОСТ ИЕС 60079-10-2–2011 [6] для пылевых сред.

Кроме того, при разработке проектной и рабочей документации на здания и сооружения необходимо учитывать требования ПУЭ-6 в части, не противоречащей требованиям Ф3-123, ТР ТС 012/2011, и перечня стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований указанных выше Технических регламентов.

Подробнее с различиями в определении классов взрывоопасных зон можно ознакомиться в статье Харламенкова А. С. “Гармонизация национальных и международных стандартов в области обеспечения пожаровзрывобезопасности объектов” (журнал “Пожаровзрывобезопасность”, № 12 за 2014 г.).

**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; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 // Собр. законодательства РФ. – 2008. – № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. ГОСТ 30852.9–2002 (МЭК 60079-10:1995). Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон. – Введ. 15.02.2014. – М. : Стандартинформ, 2014.
3. ГОСТ ИЕС 60079-10-1–2013. Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды. – Введ. 01.07.2015. – М. : Стандартинформ, 2014.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 6-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1986.
5. ТР ТС 012/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах (в ред. от 13.05.2014) : утв. решением Комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 № 825; введ. 15.02.2013. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902307910> (дата обращения: 10.07.2015).
6. ГОСТ ИЕС 60079-10-2–2011. Взрывоопасные среды. Часть 10-2. Классификация зон. Взрывоопасные пылевые среды. – Введ. 15.02.2013. – М. : Стандартинформ, 2013.

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

**УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!**

Вы можете присылать свои вопросы на электронную почту издательства (info@fire-smi.ru), и специалисты в области пожарной безопасности дадут Вам на них исчерпывающие и квалифицированные ответы.

# 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 неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также неперебиваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

**2.3.** Информация об авторах.

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

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

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

# УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Издательство “ПОЖНАУКА” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 2-е полугодие 2015 г., а также годовую подписку.

ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА **ПОЖАРОВЗРЫВО-**  
на журнал **БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

## КУПОН '2015

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2-е полугодие 2015 г.)	<b>5700</b>		
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (годовая подписка)	<b>10400</b>		

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

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



Научно-исследовательские и сертификационные испытания:

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

Контакты:

Тел.: (495) 662-69-70

e-mail: ikbs@mgsu.ru

[www.ikbs-mgsu.ru](http://www.ikbs-mgsu.ru)