

1-2014

**ПОЖ** Издательство  
**НАУКА**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-**

**БЕЗОПАСН**  **СТЬ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

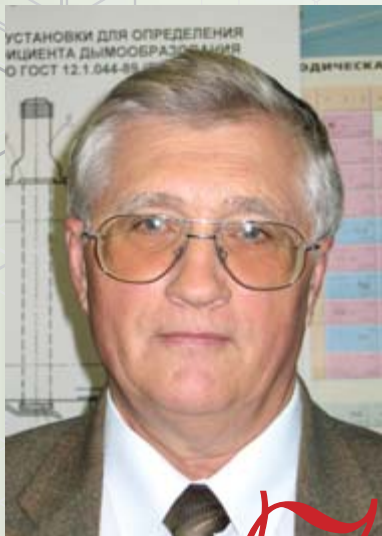
ISSN 0869-7493

ВЛИЯНИЕ ВОДНОГО БАРЬЕРА  
НА ДИНАМИКУ РАЗВИТИЯ  
ЛЕСНОГО ПОЖАРА

**КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

пожарная • промышленная • производственная • экологическая





*Многие знают  
Александра Яковлевича КОРОЛЬЧЕНКО  
таким...*



*75 лет*

*И мало кто таким...*



# *Поздравляем с юбилеем!*

*Уважаемые читатели, 19 января 2014 года исполняется 75 лет Главному редактору журнала "Пожаровзрывобезопасность" Александру Яковлевичу КОРОЛЬЧЕНКО!*

*Бытует мнение, что настоящий мужчина обязательно должен посадить дерево, вырастить сына и построить дом. Александр Яковлевич Корольченко с этой задачей справился на "отлично".*

*Во-первых, мы точно знаем, что Александр Яковлевич посадил больше, чем одно дерево, и даже подозреваем, что на думале из этих деревьев можно было бы напечатать все его работы, а их у него более 300, среди которых немало учебников и монографий.*

*Во-вторых, он вырастил даже не одного, а двоих сыновей, находит время и возможность побыть с внуками, несмотря на свой плотный график. Да и кандидатов, и докторов наук он "растит" с завидной регулярностью.*

*Ну а в-третьих, Александр Яковлевич построил не только дом, но и целую научную школу в области пожарной безопасности, в которой подготовлено более 30 кандидатов и 8 докторов наук. Им разработана отечественная система оценки пожаровзрывоопасности веществ и материалов, введенная в практику в виде ГОСТ 12.1.044-89 "Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы определения". Под его руководством создана установка для экспериментального определения показателей пожаровзрывоопасности веществ. На основе детального изучения механизма двухстадийного окисления предельных газоздушных смесей (совместно с Ю. Н. Шебеко) и описания механизма развития пылевых веществ (совместно с Н. А. Полетаевым) разработаны и введены в практику методы расчета показателей пожаровзрывоопасности индивидуальных веществ и многокомпонентных смесей. По результатам исследования процессов флегматизации и ингибирования горения газо- и пылевоздушных смесей разработаны методы расчета флегматизирующих концентраций. Под руководством А. Я. Корольченко были сформулированы основные принципы обеспечения пожаровзрывоопасности технологических процессов, реализованные в ГОСТах.*

*Александр Яковлевич Корольченко награжден четырьмя медалями, почетными знаками.*

*Можно бесконечно долго перечислять заслуги этого выдающегося ученого и специалиста. Вклад, внесенный А. Я. Корольченко в развитие науки, неограничен.*

*От всей души желаем Александру Яковлевичу крепкого здоровья и новых успехов в его нелегкой, но важной профессии!*

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

БАКИРОВ И. К., ХАФИЗОВ Ф. Ш., СУЛТАНОВ Р. М.  
Проблемы применения нормативных документов  
по пожарной безопасности

7

## ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ Веществ и материалов

БАРБОТКО С. Л., БАРБОТКО М. С.,  
ВОЛЬНЫЙ О. С., ПОСТНОВ В. И.  
Влияние длительного теплового воздействия  
на пожаробезопасность полимерных материалов

12

АЛЕКСЕЕВ К. С., БАРБИН Н. М., КАЛАЧ А. В., КАЛАЧ Е. В.  
Применение дескрипторного метода QSPR  
для прогнозирования температуры вспышки спиртов

21

БАТОВ Д. В., МОЧАЛОВА Т. А., ПЕТРОВ А. В.  
Исследование температуры вспышки бинарных неводных  
смесей жидкостей с положительным и отрицательным  
отклонениями от закона Рауля

25

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

КАТАЕВА Л. Ю., ПОСТНОВ А. Д.,  
ЛОЩИЛОВ С. А., МАСЛЕННИКОВ Д. А.  
О влиянии водного барьера на динамику развития  
лесного пожара в зависимости от рельефа местности

30

## ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

ПОЛАНДОВ Ю. Х., БАБАНКОВ В. А.  
Механизм влияния перепускного взрывного клапана  
на развитие взрыва в газовой многоходовой топке

38

## СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

ВИНОГРАДОВ А. Г.  
Методика расчета экранирующих свойств водяных завес

45

ШИМКО В. Ю.  
Использование конструкций на основе водопленочных  
экранов для повышения пожаровзрывобезопасности  
объектов хранения и распределения  
сжиженного природного газа

58

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ШАРОВАРНИКОВ А. Ф.  
Оценка флегматизирующих концентраций  
газовых огнетушащих составов

62

КОЖЕВИН Д. Ф., ПОЛЯКОВ А. С., СЫТДЫКОВ М. Р.  
О практике параметризации переносных порошковых  
огнетушителей (Аналитический обзор)

68

## ДИСКУССИИ

АФАНАСЬЕВ Н. В., ВАГАНОВА Д. В.  
Опыт функционирования института саморегулирования  
в области пожарной безопасности в Российской Федерации

77

## ВОПРОС – ОТВЕТ

81

## GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

BAKIROV I. K., KHAFAZOV F. Sh., SULTANOV R. M.  
Problems of application of normative documents  
on fire safety

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

BARBOTKO S. L., BARBOTKO M. S.,  
VOLNYY O. S., POSTNOV V. I.  
Influence of long thermal exposure on fire safety  
of polymeric materials

ALEKSEEV K. S., BARBIN N. M., KALACH A. V., KALACH E. V.  
Application QSPR for predicting flash points  
of alcohols

BATOV D. V., MOCHALOVA T. A., PETROV A. V.  
Flash point study of binary nonaqueous mixtures  
of liquids with positive and of negative deviations  
from the Raoult's law

## FIRE MODELING

KATAEVA L. Yu., POSTNOV A. D.,  
LOSHCHILOV S. A., MASLENNIKOV D. A.  
Influence of water barrier on dynamics of the forest fire  
depending on terrain

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

POLANDOV Yu. Kh., BABANKOV V. A.  
Mechanism of the influence of the explosive bypass valve  
on development of explosion in multi-pass gas furnace

## MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

VINOGRADOV A. G.  
Calculation method of water curtain shielding properties

SHIMKO V. Yu.  
Application of constructions based on water-film shields  
for increasing of the fire and explosion safety  
of objects of storage and distribution  
of the liquefied natural gas

KOROL'CHENKO D. A., SHAROVARNIKOV A. F.  
Phlegmatizing concentrations  
of gas fire extinguishing compounds

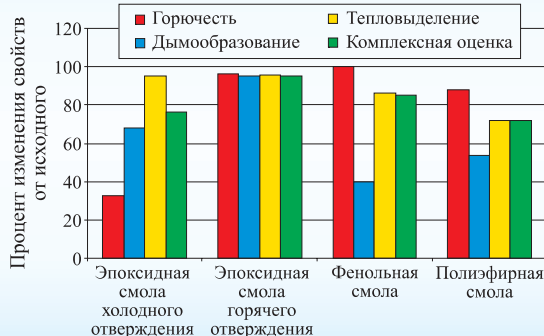
KOZHEVIN D. F., POLYAKOV A. S., SYTDYKOV M. R.  
About practice parametrization portable powder  
extinguishers (Analytical review)

## DISCUSSION

AFANASYEV N. V., VAGANOVA D. V.  
The experience of the institute of self-regulation  
in the field of fire safety in the Russian Federation

## QUESTION – ANSWER

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



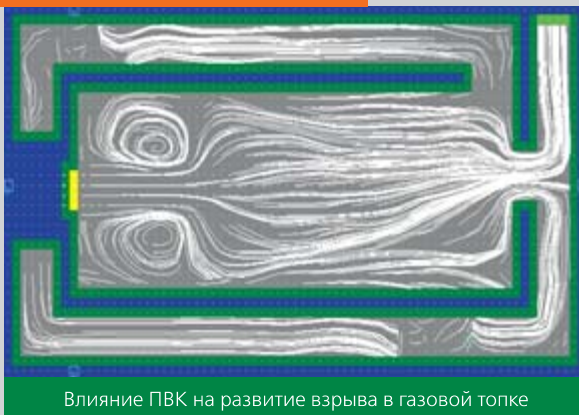
Влияние теплового воздействия на полимерные материалы



Влияние водного барьера на динамику лесного пожара

Стр. 12

Стр. 30



Влияние ПВК на развитие взрыва в газовой топке

Стр. 38



Конструкции на основе водоуплотненных экранов

Стр. 58

Стр. 68



Практика параметризации переносных огнетушителей

**Председатель Редакционного совета:**

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

**Зам. председателя Редакционного совета:**

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

**Редакционный совет:**

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

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

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

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

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

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

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

**Меркулов В. А.**, к. т. н. (Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Шилдс Т. Дж.**, профессор (Великобритания)

**Редакция:**

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

**Учредитель — ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"**

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

121352, г. Москва, а/я 43.

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

Подписано в печать 30.12.2013.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.

**Founder:**

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

**Editorial Staff:**

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

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

**Address of Editorial Staff:**

Post office box 43,  
Moscow, 121352, Russia

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

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

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

"Pozharovzryvobezopasnost" ("Fire and Explosion Safety") is included in List of periodical scientific and technical publication of the Russian Federation, what are recommended for publishing the main results of competitors for doctoral degree by VAK, in Abstracting Journal and VINITI Database RAS, is included in Russian Citation Index Database. Information about the journal is annually published in "Ulrich's Periodicals Directory".

No part of this publication may be used or reproduced in any form or by any means without the prior permission of the Publishers.

Reproducing any part of this material a reference to the journal is obligatory. Authors and advertisers account for contents of given papers and for publishing in the open press. Opinion of Editorial Staff not always coincides with Author's opinion

Signed for printing 30.12.2013  
Format is 60x84 1/8  
Printing is 5 000 copies  
Chalk-overlay mat paper  
Offset printing

**Chairman of Editorial Board:**

**Korol'chenko A. Ya.,**

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

**Deputy Chairman of Editorial Board:**

**Molkov V. V.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

**Editorial Board:**

**Baratov A. N.,**

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

**Barbin N. M.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Brushlinskiy N. N.,**

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

**Gorban Yu. I.,**

General Director – Chief Designer (Russia)

**Kiryukhantsev Ye. Ye.,**

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Korol'chenko D. A.,**

Candidate of Technical Sciences (Russia)

**Leybman M. Ye.,**

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

**Merkulov V. A.,**

Candidate of Technical Sciences (Russia)

**Mishuev A. V.,**

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

**Roytman V. M.,**

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

**Senin N. I.,**

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Serkov B. B.,**

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

**Puzach C. V.,**

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

**Telichenko V. I.,**

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

**Topolskiy N. G.,**

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

**Tychino N. A.,**

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

**Kholshchevnikov V. V.,**

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

**Shebeko Yu. N.,**

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

**Thomas Jim Shields,**

Professor (Great Britain)

20-я международная выставка и конференция

# ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА

ufi  
Approved  
Event

# Mips

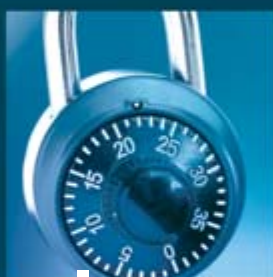
OSCOV

**14–17 АПРЕЛЯ 2014 ГОДА**  
МОСКВА, ВВЦ, ПАВИЛЬОН 75

*Нам 20 лет!*



Охранное  
телевидение  
и наблюдение



Технические  
средства  
обеспечения  
безопасности



Системы  
защиты  
периметра.  
Ограждения



Пожарная  
безопасность.  
Аварийно-  
спасательная  
техника.  
Охрана труда



Смарт карты



РЕКЛАМА

Организатор:



Тел.: +7 (495) 935 7350  
Факс: +7 (495) 935 7351  
security@ite-expo.ru

При поддержке:



МВД России

[www.mips.ru](http://www.mips.ru)





# СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

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

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

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

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

http: www.artsok.com

Система менеджмента качества сертифицирована как соответствующая требованиям 9001–2008



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



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



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



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



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



Распределительные устройства  
(РУ) для комплектации АУГП  
централизованного типа



Насадки для распыления  
газовых огнетушащих веществ  
(струйные и локальные)



**И. К. БАКИРОВ**, канд. техн. наук, доцент кафедры “Пожарная и промышленная безопасность” ФГБОУ ВПО “Уфимский государственный нефтяной технический университет” (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: bakirovirek@bk.ru)

**Ф. Ш. ХАФИЗОВ**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой “Пожарная и промышленная безопасность” ФГБОУ ВПО “Уфимский государственный нефтяной технический университет” (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

**Р. М. СУЛТАНОВ**, д-р хим. наук, профессор кафедры “Пожарная и промышленная безопасность” ФГБОУ ВПО “Уфимский государственный нефтяной технический университет” (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

УДК 614.841.33

## ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассмотрены проблемные вопросы применения нормативных документов по пожарной безопасности. Выполнен анализ некоторых статей федерального закона “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” и показана неэффективность их требований для предупреждения и тушения пожаров. Дана оценка действенности выявления инспекторами пожарного надзора нарушений на нефтеперерабатывающих заводах в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность; технический регламент; свод правил; пожарный риск.

Известно, что сегодня нормативно-техническая база в области пожарной безопасности для объектов, построенных или реконструированных после вступления в силу Федерального закона № 123 “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [1] (далее — Технический регламент), т. е. после 1 мая 2009 г., претерпела значительные изменения.

Теперь с появлением нового понятия “оценка пожарного риска” многие технические требования в области пожарной безопасности выполнять необязательно. Казалось бы, к чему стремились, то и получили: гибкую и более мягкую систему нормирования по сравнению с прежней, которая в мире была одной из самых жестких и, возможно, поэтому на объектах полностью не соблюдалась. Но по-прежнему, как и раньше, остается много вопросов по применению нормативно-технической базы в области пожарной безопасности.

Так, например, в ст. 54 Технического регламента [1] определено, что перечень объектов, подлежащих оснащению пожарной сигнализацией и системой оповещения, устанавливается нормативными документами по пожарной безопасности, т. е. сводами правил. Однако если расчетные значения пожарных рисков не превышают допустимые, то в соответствии со ст. 6 [1] требования сводов правил выполнять необязательно. Из этого следует, что такие объекты системами сигнализации и оповещения можно не оснащать, так как перечень объектов, подлежащих оснащению, определен в сводах правил МЧС России. Более того, согласно последним изменениям к Техническому регламенту [1], утвержден-

ным Федеральным законом № 117 от 10.07.2012 г. [2], словосочетание “обязательному оснащению” (объектов сигнализацией и оповещением) теперь заменено на слово “оснащению”. В Федеральном законе “О техническом регулировании” [3] установлено, что своды правил применяются на добровольной основе, поэтому их неприменение не может оцениваться как несоблюдение требований технических регламентов. Тем не менее сегодня при проектировании и строительстве объектов, даже после вступления в силу Технического регламента [1] и последних изменений к нему, они все равно оснащаются этими дорогостоящими системами, хотя по некоторым данным их эффективность при пожарах крайне мала.

Таким образом, новая, более гибкая и мягкая система требований пожарной безопасности не работает. Причиной этого может быть неопределенность текста нормативных правовых актов, российская привычка перестраховываться и низкий уровень подготовки проектировщиков и инспекторов пожарной охраны, проверяющих объекты. Великий китайский поэт и философ Конфуций сказал: посылать людей на войну необученными — значит предавать их.

В ст. 51 Технического регламента [1] определено, что “со дня вступления названного закона требования к объектам защиты, установленные нормативными правовыми актами РФ и нормативными документами, подлежат обязательному исполнению в части, не противоречащей требованиям Технического регламента”. Из этого следует, что требования, установленные нормативными документами

(СНиП, РД, НПБ, ВУПП, ПУЭ, ГОСТ, ТУ, ПТЭЭ и т. д.), подлежат обязательному исполнению, если они не противоречат Техническому регламенту [1]. Но в федеральном законе [3] определено, что не включенные в технические регламенты технические требования не могут носить обязательный характер. Как видим, эти статьи откровенно противоречат друг другу.

Одной из главных целей разработки Технического регламента [1] являлось уменьшение количества нормативных документов по пожарной безопасности, поскольку оно достигло, по некоторым данным, 1,5–2 тысяч. Но ст. 151 Технического регламента [1] обязывает их выполнять, как и раньше, а значит, основная цель, преследуемая разработчиками [1], не достигнута.

В сводах правил МЧС России есть приложения с пометкой “обязательное” и “рекомендуемое”. Как же разобраться в порядке их применения, если сами своды правил носят добровольный характер применения? Значит, мы можем применять свод правил, а можем и не применять, но если применяем, то приложения с пометкой “обязательное” должны выполнять обязательно, а с пометкой “рекомендуемое” — необязательно? Например, места установки ручных пожарных извещателей, выбор типов пожарных извещателей рекомендуются, а перечень помещений, подлежащих оборудованию пожарной сигнализацией, определен в обязательном приложении. Такой подход к порядку применения нормативных документов слишком сложен и запутан. Раньше при использовании старых нормативных документов таких сложностей не было.

Сегодня нормативными документами создан двойной контроль за деятельностью по монтажу систем противопожарной защиты. Мы говорим об уменьшении “барьеров” в работе, а на самом деле их увеличиваем. Для осуществления деятельности по монтажу, техническому обслуживанию и ремонту средств обеспечения пожарной безопасности необходимо иметь лицензию МЧС России. Одновременно законом установлено, что работы по огнезащите строительных конструкций и монтажу систем автоматики и сигнализации должны выполнять организации, являющиеся членами саморегулируемых организаций (далее — СРО), которые также должны контролировать организации, находящиеся в их составе. Таким образом, монтаж систем пожарной автоматики должны выполнять организации, одновременно имеющие лицензии МЧС России и являющиеся членами СРО, что и создает двойной контроль. Многие организации, не являясь членами СРО, сегодня ведут такие работы в нарушение требований Градостроительного кодекса, и руководители объектов, выступающие в роли заказчиков, платят

за это деньги, не убедившись в том, что данные организации правомочны вести такие работы. Такое положение дел неверно: законы должны соответствовать жизни, а жизнь — законам.

Как уже было сказано выше, сегодня МЧС России выдает лицензии на деятельность по монтажу, техническому обслуживанию и ремонту средств обеспечения пожарной безопасности, но саму эту деятельность оно не контролирует. Иначе говоря, проверки объектов на стадии строительства МЧС России в лице Федерального государственного пожарного надзора (далее — ФГПН) не проводит. А ведь именно на стадии строительства, реконструкции и капитального ремонта проводится основная масса работ по монтажу систем обеспечения пожарной безопасности (пожарная сигнализация, пожаротушение, оповещение, огнезащита и т. д.). В связи с этим на объектах после сдачи их в эксплуатацию начинаются проблемы. Инспектор ФГПН приходит с проверкой и выписывает предписание, в котором перечисляются нарушения, не учтенные при проектировании и строительстве. Монтаж систем пожарной автоматики часто выполняют люди, вообще не являющиеся членами СРО или не имеющие лицензии. Но из этого положения они находят самый простой выход: при сдаче систем пожарной автоматики документы оформляются как продажа, скажем, пожарных извещателей, а не как монтаж пожарной сигнализации. И никто не выясняет, кто эту сигнализацию или оповещение монтировал.

В результате такого неопределенного контроля со стороны государства в проигрыше остаются прежде всего объекты. Можно было бы, конечно, судиться с государственными органами контроля, но, как Вы понимаете, заниматься этим на объектах не очень-то стремятся. Совершенно очевидно, что при выстроенной таким образом системе контроля разными госструктурами на стадиях строительства и эксплуатации объекта всегда будут возникать нестыковки и нарушения при выполнении требований пожарной безопасности.

Согласно ст. 78 Технического регламента [1] для объектов, для которых отсутствуют нормативные требования пожарной безопасности, должны быть разработаны специальные технические условия (СТУ), содержащие инженерно-технические и организационные мероприятия по пожарной безопасности. Но в соответствии со ст. 6 ФЗ № 384 “О безопасности зданий и сооружений” [4] специальные технические условия разрабатываются только в случае отступления от требований. Получается, что по одному закону СТУ разрабатываются только тогда, когда нет норм, а по другому закону — тогда, когда они нарушены или их нет? Как поступать в таком случае? Вот и еще одно противоречие. Как сказал

великий русский писатель Л. Н. Толстой, неясность слова есть неизменный признак неясности мысли.

Теперь немного хочу сказать об эффективности работы инспекторов ФГПН. На базе Уфимского государственного нефтяного технического университета был проведен анализ причинно-следственной связи пожаров, работы органов ФГПН и аварийных комиссий на заводах топливно-энергетического комплекса (далее — ТЭК), точнее на нефтеперерабатывающих заводах г. Уфы. Изучались предписания ФГПН и акты комиссий, создаваемых для расследования причин пожара. Например, причинами пожаров на одной из производственных установок в актах комиссий были названы такие, как самовоспламенение пирофорных соединений, разгерметизация дренажного вентиля насоса и т. д. (из-за износа и последующего разрыва трубопровода линии гудрона в результате ошибки при проектировании, самовоспламенения пропитанной теплоизоляции, попадания бензинового конденсата на горячие трубопроводы с последующим самовоспламенением, пропуска фланцевого соединения). Органы же ФГПН в предписаниях называли следующие нарушения: не смонтирован защитный экран, нарушена отбортовка, отсутствует пожарная сигнализация и т. д.

Таким образом, мероприятия, предложенные после возникновения пожаров в актах комиссий по расследованию причин пожаров, напрямую связаны с устранением причин их возникновения. В то же время ни одно из 300–400 нарушений на каждом из нефтеперерабатывающих заводов г. Уфы (заводы “Уфанефтехим”, “Уфимский нефтеперерабатывающий завод”, “Новыйл” и т. д.), установленных в предписаниях ФГПН до пожара, не связано с причинами пожаров, а значит, их выявление не может предотвратить или предупредить пожар. Это говорит о том, что инспекторы ФГПН, составляя предписания, не анализировали, какие из выявленных нарушений могут стать причиной пожаров. Это объясняется отсутствием в нормативных документах связи между причинами возникновения пожаров и требованиями пожарной безопасности, взаимодействия между комиссиями по расследованию пожара и сотрудниками ФГПН, проверяющими объект до пожара. Таким образом, можно сделать вывод, что если бы даже ФГПН не проверял объект, на нем все равно произошло бы столько же пожаров.

Приведем простой пример. В соответствии с нормативными документами на резервуарах нефтепродуктов вместимостью 5000 м<sup>3</sup> и более должно быть предусмотрено автоматическое пожаротушение. Однако при пожарах на таких резервуарах эффективность их использования сводится к нулю, так как при пожаре они сразу деформируются и выводят из строя систему пожаротушения, которая закреплена на стенке резервуара. Так зачем нам такая

дорогостоящая система пожаротушения, от которой нет пользы? По некоторым данным, в США от автоматического пожаротушения резервуаров вообще отказались, поскольку в 100 % случаев резервуары после пожара не подлежат восстановлению. Совсем другое дело — система охлаждения в виде колец орошения вокруг горящего резервуара, которая эффективно может препятствовать распространению пожара, или установка стационарных лафетных пожарных стволов на территории.

Недостатком работы ФГПН является и низкий уровень проверок противопожарного состояния объектов. Многие нарушения остаются незамеченными, а многие выявляются неправомерно. Инспектора ФГПН обосновывают нарушения отмененными правилами пожарной безопасности; ведомственными указаниями, действующими только на стадии проектирования объектов, а на объектах, запроектированных после вступления в силу Технического регламента, — нормами пожарной безопасности, которые согласно [3] необязательно выполнять. Иными словами, берется в расчет тот вариант закона или нормы, который удобнее применять и который помогает найти больше нарушений, но, как оказывается, на причины пожаров не влияет вовсе. Что уж говорить о более мелких объектах?

В этом смысле известна позиция министра МЧС России В. А. Пучкова, озвученная в интервью Российской газете 10 января 2013 г., согласно которой малые и средние предприятия не должны проверяться МЧС России в лице территориальных органов ГПН при условии оформления декларации пожарной безопасности. Может, это и правильно. Предполагаю, что при определении порядка применения нормативных документов г-н Пучков и относительно других объектов будет иметь позицию, определяющую более справедливое и законное обоснование нарушений.

У нас есть федеральные законы “О техническом регулировании”, “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”, “Технический регламент о безопасности зданий и сооружений”, своды правил МЧС России, СНиПы, ГоСТы, нормы пожарной безопасности, правила противопожарного режима, руководящие документы и т. д. Они по-прежнему “запутывают” заказчиков, проектировщиков при их применении и часто противоречат друг другу. Сейчас у нас переходный период, когда новые нормы уже действуют наравне со старыми, а старые еще действуют и будут действовать много лет. В результате норм стало еще больше, чем было. “Многочисленность законов в государстве есть то же, что большое число врачей: признак болезни и бессилия”, — это сказал великий французский философ, поэт и правозащитник Вольтер (Франсуа Мари Аруэ, конец XVII — начало XVIII века).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Российская газета. — 2008. — № 163; Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. О внесении изменений в Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” : Федер. закон РФ от 10.07.2012 г. № 117-ФЗ; принят Гос. Думой 20.06.2012 г.; одобр. Сов. Федерации 27.06.2012 г.; введ. 12.07.2012 г. // Российская газета. — 13.07.2012 г. — Федер. вып. № 5832. URL : [www.rg.ru/2012/07/13/reglament-dok.html](http://www.rg.ru/2012/07/13/reglament-dok.html) (дата обращения: 20.09.2013 г.).
3. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ; принят Гос. Думой 15.12.2002 г.; одобр. Сов. Федерации 18.12.2002 г. // Российская газета. — 2002. — № 245.
4. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федер. закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ; принят Гос. Думой 23.12.2009 г.; одобр. Сов. Федерации 25.12.2009 г. // Российская газета. — 31.12.2009 г. — № 255; Собр. законодательства РФ. — 04.01.2010 г. — № 1, ст. 5.

*Материал поступил в редакцию 30 сентября 2013 г.*

English

## PROBLEMS OF APPLICATION OF NORMATIVE DOCUMENTS ON FIRE SAFETY

**BAKIROV I. K.**, Candidate of Technical Sciences, Associated Professor of Fire and Industrial Safety Department, Ufa State Petroleum Technological University (Kosmonavtov St., 1, Ufa, 450062, Republic Bashkortostan, Russian Federation; e-mail address: bakirovirek@bk.ru)

**KHAFIZOV F. Sh.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Fire and Industrial Safety Department, Ufa State Petroleum Technological University (Kosmonavtov St., 1, Ufa, 450062, Republic Bashkortostan, Russian Federation)

**SULTANOV R. M.**, Doctor of Chemistry Sciences, Professor of Fire and Industrial Safety Department, Ufa State Petroleum Technological University (Kosmonavtov St., 1, Ufa, 450062, Republic Bashkortostan, Russian Federation)

### ABSTRACT

Today regulatory matters in the application of regulations in the field of fire safety has developed such a position that many of the technical requirements for fire safety does not necessarily perform the emergence of a new concept — fire risk assessment. And the fundamental criterion of fire safety in the facility protection are now the conditions set out in Article 6 of the Federal Law “Technical regulations for fire safety requirements”. If the calculated values of fire risks do not exceed allowable, the Russian Emergency Situations Ministry rulebooks and other normative documents in the field of fire safety to apply the principles of voluntary use, i. e. MOE requirements rulebooks Russia does not necessarily perform. Such objects alarm and warning, for example, can not be equipped with, as the list of objects subject to equipment, sets of rules defined in the Russian Emergencies Ministry. But unfortunately the above new, seemingly more flexible and soft system fire safety regulations, mainly at the sites of protection “does not work”.

Determined that the requirements for the protection of sites established by normative legal acts and normative documents are binding to the extent not contrary to the requirements of the “Technical regulations on fire safety”. But in the law “On technical regulation” is defined which is not included in the technical regulations technical requirements can not be mandatory. These requirements are contradictory.

The sets of rules of the Russian Emergencies Ministry have an applications with a “mandatory” and “recommended” and not know how to understand their application if the same sets of rules are voluntary application.

When work on installation, maintenance and repair of fire safety must be licensed by the Russian Emergencies Ministry. At the same time work on the fire protection of building structures and installation of automation systems and alarms should be carried out by organizations that are members of self-regulatory organizations. Thus the installation of fire-alarm system must comply with the or-

ganizations, both licensed Russian Emergencies Ministry and members of the self-regulatory organization that creates dual control.

Investigated regulations by the Federal State Fire Supervision and acts of commissions created after the fire to investigate the incidents and concluded that: the activities proposed after the occurrence of fires in the acts of emergency commissions directly related to the elimination of the causes of fires. A breach in refineries in Ufa (factories “Ufaneftekhim”, “Ufa Oil Refinery”, “Novoil”, etc.) installed in the regulations Federal regulations State Fire Supervision before the fire, is not associated with the causes of fires, does not prevent or warn fire.

**Keywords:** fire safety; technical regulations; sets of rules; fire risk.

## REFERENCES

1. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22. 07. 2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. About modification of the Federal Law “Technical regulations for fire safety requirements”. Federal Law on 12. 07. 2012 No. 117. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 13. 07. 2012, no. 5832. Available at: [www.rg.ru/2012/07/13/reglament-dok.html](http://www.rg.ru/2012/07/13/reglament-dok.html) (Accessed 20 September 2013) (in Russian).
3. On technical regulation. Federal Law on 27. 12. 2002 No. 184. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2002, no. 245 (in Russian).
4. Technical regulations on safety of buildings and structures. Federal Law of the Russian Federation on 30.12.2009 no. 384. *Sobraniye zakonodatelstva — Collection of Laws of the Russian Federation*, 04.01.2010, no. 1, art. 5 (in Russian).



# Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

**С. Л. БАРБОТЬКО**, канд. техн. наук, начальник лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность" ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов" ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17; e-mail: slbarbotko@yandex.ru)

**М. С. БАРБОТЬКО**, инженер-экспериментатор 1-й категории, ОАО НПО "Энергомаш" им. академика В. П. Глушко (Россия, 141401, Московская обл., г. Химки, ул. Бурденко, 1)

**О. С. ВОЛЬНЫЙ**, инженер 2-й категории лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность" ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов" ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

**В. И. ПОСТНОВ**, д-р техн. наук, начальник Ульяновского научно-технологического центра ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов" ГНЦ РФ (Россия, 432010, г. Ульяновск, ул. Врача Михайлова, 34; e-mail: untsviam@viam.ru)

УДК 614.841.41:629.7.042.2

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Проведены исследования по влиянию теплового воздействия на характеристики пожарной опасности стеклопластиков на различных типах полимерной матрицы. Показано отсутствие ухудшения измеренных характеристик пожарной опасности материалов при выбранных условиях испытаний их на тепловое старение.

**Ключевые слова:** полимерный композиционный материал; пожарная безопасность; тепловое старение.

### Введение

Расширение области использования полимеров, и полимерных композиционных материалов (ПКМ) в частности, для изготовления сложных технических систем в различных отраслях промышленности, в том числе в авиастроении, требует усиления контроля за сохраняемостью в процессе эксплуатации свойств материалов, входящих в узлы и элементы конструкций.

Одними из основных факторов, воздействующих на технику, изделия сложных технических систем, здания и сооружения в процессе их эксплуатации, кроме механических нагрузок, являются факторы климата (повышенные и пониженные температуры, влажность и осадки, излучение солнечного спектра и др.). Интенсивность воздействия тепло-влажностных факторов существенно варьируется в зависимости от условий хранения и эксплуатации. В связи с этим исследование воздействия факторов климата и условий эксплуатации на материалы авиационной техники, эксплуатируемой в различных климатических условиях, и определение степени сохраняемости свойств и эксплуатационных (служебных) характеристик являются важной и актуальной задачей. Как правило, оценка сохраняемости служебных

характеристик полимерных материалов проводится по изменению величины основных физико-механических свойств (предел прочности при растяжении, сдвиге, изгибе и др.). Одними из важнейших показателей для полимерных материалов, используемых во внутренних конструкциях авиационной техники (пассажирская кабина, багажно-грузовые отсеки и др.), являются характеристики пожарной опасности [1]. В связи с использованием в настоящее время ПКМ в конструкциях корпусов вертолетов и планируемым применением их в конструкциях внешнего контура пассажирских самолетов (фюзеляж, крыло, киль, рули направления и высоты, элементы механизации крыла), а также в конструкциях изделий сложных технических систем встает задача оценки сохранения ими пожаробезопасности в течение длительных сроков.

В авиационной отрасли требования по пожарной безопасности распространяются преимущественно на материалы внутренней отделки самолетов (пассажирские салоны, багажно-грузовые отсеки, кабина экипажа) [2]. Воздействие климатических факторов на материалы этого назначения ограничено (отсутствует влияние атмосферных осадков, УФ-излучения, в меньшей степени имеет место влияние

тепла и влажности). В связи с этим исследования по влиянию климатических факторов на изменение пожаробезопасности авиационных материалов до настоящего времени не проводились.

Тем не менее оценка сохраняемости пожаробезопасности полимерных конструкционных материалов в результате воздействия на них климатических факторов нуждается в серьезном исследовании. В процессе воздействия влажности, осадков, солнечного излучения, переменных температур, кислорода, озона и т. п. происходит изменение полимерной матрицы ПКМ, миграция пластификаторов, антипиренов и пр. Все эти процессы закономерно могут привести к изменению характеристик пожарной опасности полимерных материалов.

В связи с этим с учетом перспективы широкого использования ПКМ во внешнем контуре пассажирских самолетов в ближайшие годы будут введены нормы пожарной безопасности для этой группы функциональных материалов [3, 4]. В частности, необходимость оценки влияния климатических факторов на характеристики пожарной опасности ПКМ самолетов, эксплуатируемых в любых климатических условиях, отмечается в справочнике по композиционным материалам Министерства обороны США [5].

В настоящее время данные по влиянию атмосферных факторов (влажности, солнечного излучения, осадков, перепадов температуры, промышленных выбросов и др.) на изменение характеристик пожарной опасности (горючесть, дымообразующая способность, тепловыделение) полимерных композиционных материалов в общем случае отсутствуют. Имеются отдельные литературные данные по влиянию факторов атмосферного старения на изменение характеристик пожарной опасности строительных и электрокабельных материалов.

В строительной отрасли влияние климатических факторов на изменение пожаробезопасности преимущественно рассматривается применительно к древесным материалам при оценке сохранения эффективности огнезащитных пропиток. С течением времени происходит вымывание веществ огнезащитных пропиток, изменение их химического состава, разрушение поверхности самого материала. Вследствие этого, с одной стороны, возможно повышение горючести, дымообразующей способности, скорости распространения пламени, массовой скорости выгорания, а с другой — наоборот, снижение показателей горючести за счет накопления атмосферной влаги во внутренних слоях материалов вследствие разрушения их поверхности. В связи с этим для оценки влияния климатических факторов требуется проведение огневых испытаний. Например, в соответствии с требованиями ВНИИПО [6] испытания древесных материалов проводятся по ГОСТ 16363–98. В работе [7] приведены данные по

изменению характеристик пожарной опасности древесины, взятой из построек различной давности. Эти данные показывают нелинейное (в некоторых случаях циклическое) изменение характеристик пожарной опасности, связанное со сложным характером изменения свойств и структуры материала под воздействием климатических факторов.

Согласно литературным данным [8–10] для электрокабелей актуальна проблема сохраняемости пожаробезопасных свойств полимерных покрытий электроизоляции в процессе эксплуатации. Наиболее распространенными ПКМ, применяемыми для огнезащиты электроизоляции, являются композиции на основе поливинилхлорида (ПВХ). Однако с течением времени в результате воздействия тепла, атмосферной влаги, УФ-излучения, кислорода происходит разрушение химических связей и отщепление хлористого водорода в полимерной цепи материала. Вследствие этого изменяется цвет материала, его механические и электроизолирующие свойства, характеристики пожарной опасности [8]. Влияние теплового старения на материалы, применяемые для изоляции электрических кабелей, рассмотрено в [9]. В результате воздействия теплового старения на полимеры ряда полиолефинов (антипирированный этиленпропиленовый каучук и хлорсульфированный полиэтилен) было отмечено снижение содержания антипирена (трехокись сурьмы) и хлора, что привело к изменению предельного значения кислородного индекса. Для некоторых композиций после теплового старения стойкость к воспламенению возросла, что можно объяснить потерей низкомолекулярной фракции материала [10]. При испытаниях элементов электрокабелей с изоляцией на основе неопрена и поперечно-сшитого полиэтилена отмечено, что тепловое старение оказывает влияние на изменение способности материала к воспламенению и характеристики погасания. Однако установить явную корреляционную связь между режимами теплового старения (температура и длительность) и изменением пожаробезопасности не представилось возможным [9].

### **Постановка задачи, объекты и методы испытаний**

Натурная экспозиция образцов материалов требует длительного времени (эксплуатация авиационной техники или других изделий сложных технических систем составляет 20 лет и более) и наличия станций с необходимой инфраструктурой, расположенных в различных представительных климатических зонах [11], а также испытаний образцов на режимах, имитирующих воздействие факторов окружающей среды в условиях эксплуатации (в случае многократного использования изделий). Поэтому

было принято решение на первом этапе исследований ограничиться лабораторными методами испытаний, имитирующими только суммарное воздействие (дозу) тепловых факторов климата и эксплуатации. Так как материалы в условиях эксплуатации имеют слой защитного лакокрасочного покрытия, исследование воздействия солнечного излучения (ультрафиолета) на образцы материалов в данной работе было решено не проводить. В [12] показано, что в первом приближении (для сухих образцов элементов конструкций) изменение свойств полимерных композиционных материалов, использованных для изготовления стабилизаторов самолета В-737, после 20 лет эксплуатации может быть смоделировано тепловым старением материала.

Перед исследователями была поставлена задача: на образцах нескольких типовых представителей ПКМ, применяемых в различных отраслях промышленности, провести исследования по оценке степени и направления изменения характеристик пожарной опасности с использованием методов, предназначенных для оценки и квалификации авиационных полимерных материалов.

Для имитации воздействия факторов эксплуатации и климата использовали метод теплового ресурса — воздействие повышенной температуры. Суммарная доза воздействия на материалы тепловых факторов в ожидаемых условиях хранения и эксплуатации за 15–20 лет имитировалась экспозицией их в тепловых термостатах при температуре 120 °С в течение 2000 ч.

Характеристики пожарной опасности материалов зависят от химического состава и содержания связующего, толщины материала, его структуры и ряда других показателей [13–16]. Поэтому для адекватного сопоставления материалов необходимо выполнить ряд условий, в частности обеспечить совпадение свойств образцов с заранее зафиксированными неизменяемыми характеристиками. Так как в данном случае не ставилась задача исследования влияния толщины или содержания связующего на характеристики ПКМ после воздействия тепловых факторов, для снижения разброса свойств по образцам одного и того же типа все испытания проводили на одной партии образцов материалов.

В качестве объектов испытаний были выбраны стеклопластики (наполнитель — 4 слоя стеклоткани марки Т-10-80), для изготовления которых использовались следующие полимерные матрицы:

- полиэфирная смола (F805TF);
- эпоксидная смола холодного отверждения (ЭД-20);
- эпоксидная смола горячего отверждения с антипиреном (ЭДТ-69);
- фенольная смола с антипиреном (ФПР-520).

Толщина образцов в зависимости от марки связующего составляла 1,1–1,4 мм; содержание связу-

ющего для различных материалов варьировалось от 20 до 28,5 %. Однако разброс поверхностной плотности, вызванный различием содержания связующего для каждого типа материала, для всех образцов не превышал 1,0 %.

Оценка характеристик пожарной опасности проводилась следующими методами, включенными в Авиационные правила (АП-25) [2]:

- определение горючести (см. приложение F, часть I (b) (4)); метод аналогичен ОСТ 1 90094–79, в США — ANSI/ASTM F501–77). Продолжительность экспозиции пламенем лабораторной горелки Бунзена 60 с, высота пламени 38–40 мм. Регистрируемые параметры: продолжительность остаточного горения/тления (с), длина прогорания (мм), наличие и продолжительность горения падающих капель (с). В данной работе использовались образцы, отличные по размерам от стандартных (150×75 мм вместо (290±310)×75 мм);
- дымообразующая способность (см. приложение F, часть V; метод испытаний по ГОСТ 24632–81, зарубежные аналоги — ASTM E662, ASTM F814). Размер образцов 75×75 мм. Режимы испытаний: пиролиз (воздействие только теплового потока) и горение (тепловой поток + пламя пилотной горелки). Плотность теплового потока на образец 25 кВт/м<sup>2</sup>. Регистрируемые параметры\*: удельная оптическая плотность дыма (оптическая плотность дыма на 1 м<sup>2</sup> образца) за 2 мин ( $D_2$ ), 4 мин ( $D_4$ ) и максимальная ( $D_{\max}$ ) в течение времени эксперимента (15 мин) (безразмерные величины);
- тепловыделение при горении (см. приложение F, часть IV; метод испытаний на проточном калориметре типа OSU, зарубежный аналог — ASTM E906, конфигурация А). Размер образцов 150×150 мм. Режим испытаний: вертикальная ориентация образца; тепловой поток на образец плотностью 35 кВт/м<sup>2</sup> + пламя иницирующей пилотной горелки + пламя верхней горелки, обеспечивающей сгорание продуктов термодеструкции. Продолжительность эксперимента 5 мин. Регистрируемые параметры: максимальная интенсивность выделения тепла (пик) (кВт/м<sup>2</sup>), общее количество тепла, выделившегося за первые 2 мин испытания (кВт·мин/м<sup>2</sup>), время до начала воспламенения/положительного тепловыделения (с).

Обоснование используемых методов оценки пожарной опасности для материалов авиационного назначения приведено в [17–19].

\* Согласно требованиям АП-25 необходимо определять максимальную оптическую плотность дыма за первые 4 мин испытания в режиме горения, однако в данной работе определялись и другие параметры.

Перед проведением испытаний с целью определения характеристик пожарной опасности образцы термостатировали при следующих условиях: относительная влажность ( $50 \pm 5$ ) %, температура ( $23 \pm 2$ ) °С, продолжительность — не менее 24 ч. При проведении исследований для каждого вида (режима) испытаний использовали по три параллельных образца.

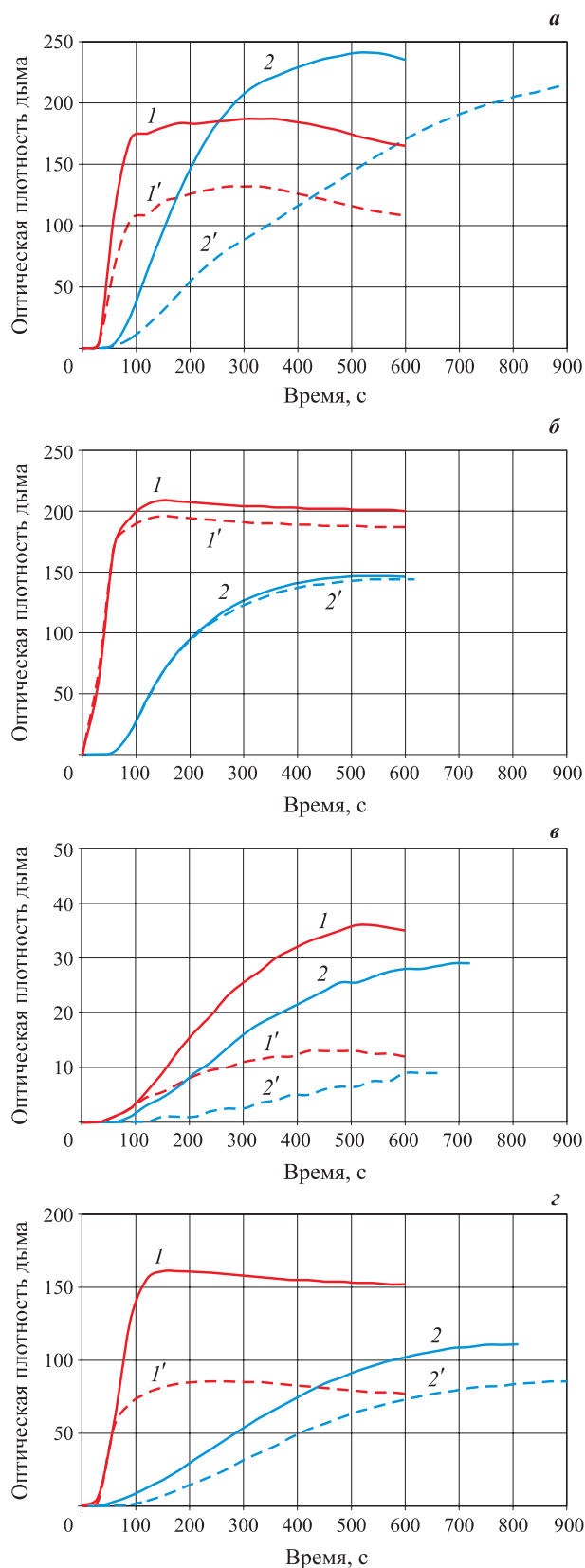
### Результаты эксперимента

Полученные в экспериментах результаты представлены в сводной таблице. На рис. 1 и 2 приведены графики показателей пожарной опасности для

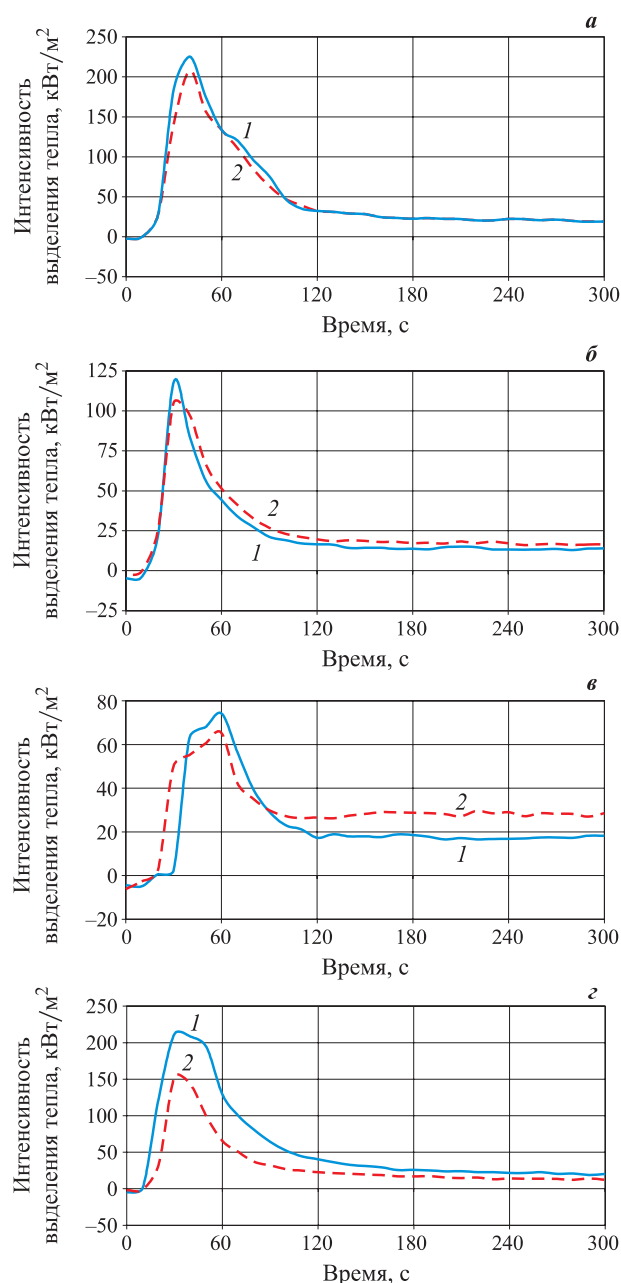
Характеристики пожарной опасности исходных образцов стеклопластиков и образцов после теплового воздействия

| Характеристика                                                                          | Значение до/после теплового воздействия     |                                       |                 |                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|
|                                                                                         | Эпоксидная смола холодного отверждения      | Эпоксидная смола горячего отверждения | Фенольная смола | Полиэфирная смола                         |
| Горючесть:                                                                              |                                             |                                       |                 |                                           |
| – длина прогорания, мм                                                                  | $\frac{\text{П. в. д.}^*}{\text{П. в. д.}}$ | $\frac{110}{106}$                     | $\frac{15}{15}$ | $\frac{\text{П. в. д.}}{\text{П. в. д.}}$ |
| – продолжительность остаточного самостоятельного горения, с                             | $\frac{48}{7}$                              | $\frac{0}{0}$                         | $\frac{0}{0}$   | $\frac{23}{19}$                           |
| Дымообразующая способность (оптическая плотность) в режиме:                             |                                             |                                       |                 |                                           |
| – горения:                                                                              |                                             |                                       |                 |                                           |
| за 2 мин $D_2$                                                                          | $\frac{175}{109}$                           | $\frac{205}{194}$                     | $\frac{6}{5}$   | $\frac{156}{78}$                          |
| за 4 мин $D_4$                                                                          | $\frac{184}{130}$                           | $\frac{209}{197}$                     | $\frac{20}{10}$ | $\frac{160}{86}$                          |
| максимальная $D_{\max}$                                                                 | $\frac{187}{132}$                           | $\frac{209}{197}$                     | $\frac{36}{13}$ | $\frac{160}{86}$                          |
| – пиролиза:                                                                             |                                             |                                       |                 |                                           |
| за 2 мин $D_2$                                                                          | $\frac{63}{19}$                             | $\frac{46}{45}$                       | $\frac{3}{0}$   | $\frac{13}{4}$                            |
| за 4 мин $D_4$                                                                          | $\frac{177}{71}$                            | $\frac{110}{109}$                     | $\frac{11}{2}$  | $\frac{39}{21}$                           |
| максимальная $D_{\max}$                                                                 | $\frac{241}{222}$                           | $\frac{147}{144}$                     | $\frac{29}{9}$  | $\frac{111}{86}$                          |
| Тепловыделение при горении:                                                             |                                             |                                       |                 |                                           |
| – максимальная интенсивность выделения тепла $\text{HRR}_{\max}$ , кВт/м <sup>2</sup>   | $\frac{225}{207}$                           | $\frac{118}{104}$                     | $\frac{74}{65}$ | $\frac{212}{153}$                         |
| – общее количество выделившегося за 2 мин тепла $\text{TRH}_2$ , кВт·мин/м <sup>2</sup> | $\frac{170}{172}$                           | $\frac{74}{84}$                       | $\frac{71}{60}$ | $\frac{156}{112}$                         |

\* П. в. д. — образец прогорает по всей длине.



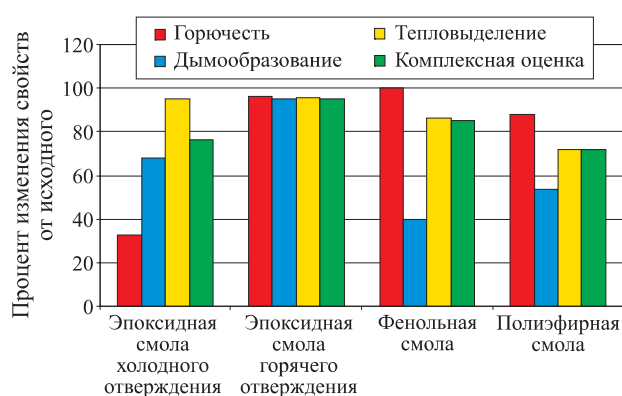
**Рис. 1.** Графики дымообразования стеклопластиков в режиме горения ( $I, I'$ ) и пиролиза ( $2, 2'$ ) в исходном состоянии ( $I, 2$ ) и после теплового старения ( $I', 2'$ ):  $a$  — на эпоксидном связующем холодного отверждения ЭД-20;  $б$  — на эпоксидном связующем горячего отверждения ЭДТ-69;  $в$  — на фенольном связующем ФПР-520;  $г$  — на полиэфирном связующем F805TF



**Рис. 2.** Графики тепловыделения стеклопластиков в исходном состоянии (1) и после теплового старения (2): а — на эпоксидном связующем холодного отверждения ЭД-20; б — на эпоксидном связующем горячего отверждения ЭДТ-69; в — на фенольном связующем ФПП-520; з — на полиэфирном связующем F805TF

материалов до теплового старения (исходных) и после него. Согласно принципам, изложенным в [20], по полученным данным рассчитаны различные индивидуальные характеристики пожарной опасности и сводная интегральная характеристика (рис. 3).

На основании сопоставления данных таблицы видно, что тепловое старение приводит к улучшению характеристик горючести: уменьшается продолжительность остаточного самостоятельного горения и/или длина прогорания. Наиболее интенсивное улучшение данных характеристик наблюдается



**Рис. 3.** Влияние теплового старения на изменение характеристик пожарной опасности стеклопластиков на основе полимерных связующих различных типов

у наиболее горючих материалов — стеклопластиков на эпоксидном связующем холодного отверждения ЭД-20 и полиэфирной смоле F805TF.

Полученные данные по дымообразованию (см. таблицу и рис. 1) показывают, что для исследованных образцов материалов характеристики оптической плотности дыма также улучшаются. Снижение максимальной интенсивности оптической плотности дыма после теплового старения может достигать 50 % от показателей исходного материала.

Показатели тепловыделения материалов при горении (см. таблицу и рис. 2) после воздействия на них выбранного режима теплового старения меняются неоднозначно: у всех образцов происходит снижение максимальной интенсивности выделения тепла, однако общее количество выделившегося тепла в зависимости от вида материала и периода измерения может и возрасти. Интегральная оценка по тепловыделению показывает, что у всех испытываемых материалов тепловыделение снижается.

Общая комплексная оценка пожарной опасности испытываемых материалов (см. рис. 3), рассчитанная как среднеквадратичное из их индивидуальных характеристик, показывает, что в результате воздействия выбранных уровней и доз теплового воздействия на образцы пожарная опасность материалов снижается.

Улучшение физико-механических характеристик на начальном этапе натурального климатического старения или в результате теплового старения — известный факт [21, 22]. Эти улучшения вызваны либо доотверждением полимерной матрицы, либо снятием термических напряжений, возникших в материале в процессе его изготовления. В данном случае для повышения пожаробезопасности в процессе теплового старения в образцах материалов должны были протекать процессы, способствующие уменьшению содержания в них низкотермостойких горючих продуктов. К такому результату могла привести дополнительная термостивка (доотверждение) по-

лимерной матрицы либо удаление низкомолекулярных летучих продуктов. Существенной деструкции основной цепи полимерной матрицы при этом происходить не должно.

### Выводы

Исследования стеклопластиков на эпоксидном связующем холодного и горячего отверждения, фенольном связующем, полиэфирной смоле показали, что тепловое старение их в течение 2000 ч при температуре +120 °С, как правило, приводит к снижению пожарной опасности материалов.

Это может быть объяснено тем, что в условиях выбранных режимов воздействия, видимо, происходят процессы доотверждения полимерной матрицы, а процессы термодеструкции не имеют места или незначительны либо произошедшее изменение структуры материала положительно сказывается на пожаробезопасности материалов.

В дальнейшем планируется проведение исследований по совместному влиянию факторов повышенной температуры и влажности, а также перепадов температур на характеристики пожарной опасности полимерных композиционных материалов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барботько С. Л. Пожаробезопасность авиационных материалов // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 5. — С. 431–439.
2. Авиационные правила. Глава 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории // Межгосударственный авиационный комитет. Изд. 3-е с попр. 1–6. — М. : ОАО Авиаиздат, 2009. — 274 с.
3. Sarkos G. Evolution of FAA Fire Safety R&D Over the Years / The Fifth Triennial Fire & Cabin Safety Research Conference, October 29–November 1, 2007, Atlantic City, NJ. URL : [http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/General\\_Fire/TueAM/SarkosFAAFire/SarkosFAAFirePres.pdf](http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/General_Fire/TueAM/SarkosFAAFire/SarkosFAAFirePres.pdf) (дата обращения: 18.07.2013 г.).
4. Marker T. Burnthrough Overview / The Fifth Triennial Fire & Cabin Safety Research Conference, October 29 – November 1, 2007, Atlantic City, NJ. URL : <http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/Burnthrough/WedAM/MarkerBurnthrough/MarkerburnthroughoverviewPres.pdf> (дата обращения: 18.07.2013 г.).
5. Composite materials handbook. V. 1. Polymer matrix composites guidelines for characterization of structural materials. — MIL-HDBK-17-1F. — 586 p.
6. Способы и средства огнезащиты древесины : руководство (перераб. и доп.). — М. : ВНИИПО, 1998. — 23 с.
7. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — 262 с.
8. Горение, деструкция и стабилизация полимеров / Под ред. Г. Е. Заикова. — СПб. : Научные основы и технологии, 2008. — 422 с.
9. The impact of thermal aging on the flammability of electric cables / Prepared by S. P. Nowlen // NUREG/CR-5619 SAND90-2121 Sandia National Laboratories, 1991. — 44 p. URL: <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0625/ML062510133.pdf> (дата обращения: 18.07.2013 г.).
10. Clough R. L. Aging effects on fire-retardant additives in polymers // Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition. — 1983. — Vol. 21. — P. 767–780.
11. Кириллов В. Н., Старцев О. В., Ефимов В. А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 5. — С. 412–423.
12. Tian W., Hodgkin J. Long-term aging in a commercial aerospace composite sample: Chemical and physical changes // Journal of Applied Polymer Science. — 2010. — Vol. 115. — P. 2981–2985.
13. Барботько С. Л. Пути обеспечения пожарной безопасности авиационных материалов // Российский химический журнал. — 2010. — Т. LIV, № 1. — С. 121–126.
14. Кузьмин С. В., Барботько С. Л. Влияние некоторых факторов на тепловыделение стеклопластиков // Авиационные материалы и технологии. — 2002. — Вып. 3. — С. 51–54.
15. Пат. 2467042 С1 Российская Федерация. МПК C09D 5/33 (2006.01), C09D 175/04 (2006.01). Полимерная теплоотражающая композиция для покрытия / Малова Н. Е., Каблов Е. Н., Кондрашов Э. К., Вереникова Н. П., Барботько С. Л. — № 2011122924/05; заявл. 07.06.2011 г.; опубл. 20.11.2012 г., Бюл. № 32.
16. Шуркова Е. Н., Вольный О. С., Изотова Т. Ф., Барботько С. Л. Исследование возможности снижения тепловыделения при горении композиционного материала за счет изменения его структуры // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 1. — С. 27–30.

17. Барботько С. Л., Кириллов В. Н., Шуркова Е. Н. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 3. — С. 56–63.
18. Барботько С. Л., Шуркова Е. Н. О пожарной безопасности материалов, используемых для изготовления внешнего контура самолетов // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 10. — С. 19–24.
19. Барботько С. Л., Шуркова Е. Н., Вольный О. С., Скрылёв Н. С. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов для внешнего контура авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. — 2013. — № 1. — С. 56–59.
20. Барботько С. Л., Голиков Н. И. О комплексной оценке пожарной опасности материалов // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 6. — С. 16–24.
21. Кириллов В. Н., Ефимов В. А., Ваниров Ю. М. К вопросу о возможности прогнозирования атмосферной стойкости ПКМ // Докл. VII науч. конф. по гидроавиации “Гидросалон-2008”. — М., 2008. — С. 307–313.
22. Barbaux Y., Cinquin J. Materials for supersonic civil transport aircraft // Aerospace Materials / Ed. Brian Cantor, Hazel Assender and Patrick Grant. — Department of Materials, University of Oxford, UK, 2001. — P. 28–37.

*Материал поступил в редакцию 6 августа 2013 г.*

English

## INFLUENCE OF LONG THERMAL EXPOSURE ON FIRE SAFETY OF POLYMERIC MATERIALS

**BARBOTKO S. L.**, Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory “Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety”, Federal State Unitary Enterprise “All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials”, State Research Center of the Russian Federation (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail address: slbarbotko@yandex.ru)

**BARBOTKO M. S.**, Engineer of 1<sup>st</sup> Category of Open Society Research-and-Production Association “Energomash” named after Academician V. P. Glushko (Burdenko St., 1, Khimki, 141401, Moscow Region, Russian Federation)

**VOLNYI O. S.**, Engineer of 2<sup>nd</sup> Category in Laboratory “Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety”, Federal State Unitary Enterprise “All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials”, State Research Center of the Russian Federation (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

**POSTNOV V. I.**, Doctor of Technical Sciences, Head of Ulyanovsk Science-Technological Centre, Federal State Unitary Enterprise “All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials”, State Research Center of the Russian Federation (Vracha Mikhaylova St., 34, Ulyanovsk, 432010, Russian Federation; e-mail address: untviam@viam.ru)

### ABSTRACT

All the polymeric materials used for manufacturing external contour of complex technical systems are undergoing influence of an environment. The greatest influence on polymeric materials is associated with factors of temperature and the increased humidity. Influence of these factors on materials leads to degradation of their main certificates of service. One of the major characteristics for polymeric materials is its fire safety. In the given work the influence of the long thermal exposure simulating 15–20 years of operation without taking into account influence of humidity, on characteristics of fire safety was studied. Research was executed for four kinds of fibreglasses on following kinds of polymeric matrixes: polyester resin, cold-setting epoxy resin, hot-setting epoxy resin containing fire-retardant additives, phenolic fire resistance resin. Tests of initial samples of materials and after thermal aging at raised temperature +120 °C within 2000 hours was carried out. Following characteristics of fire danger according to requirements of aviation norms were defined: flammability, optical smoke density, heat release. Also the complex index of fire danger was calculated. It is shown, that after the chosen dose of thermal exposure the characteristics of fire safety as a rule improved:

there were a reduction of duration of residual burning and/or lengths of a burn-out, optical density of a smoke, the maximal heat release rate. The greatest changes have been registered for glass-reinforced plastics on polyester binder and cold-setting epoxy resin. It is the most probable that the occurred changes are caused due to post cure effect of a polymeric matrix, elimination and additional cross-link processes, and also removal from the material combustible low-molecular products.

**Keywords:** polymeric composite materials; fire safety; heat aging.

## REFERENCES

1. Barbotko S. L. Pozharobezопасnost aviatsionnykh materialov [Fire safety of aviation materials]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 5, pp. 431–439.
2. Aviation Rules. Chapter 25. Airworthiness norms of a transport category airplanes. Interstate Aviation Committee. 3<sup>rd</sup> ed. with amendments 1–6. Moscow, Aviaizdat, 2009. 274 p. (in Russian).
3. Sarcos G. Evolution of FAA Fire Safety R&D Over the Years. *Fifth Triennial Fire & Cabin Safety Research Conference*, October 29 – November 1, 2007, Atlantic City, NJ. Available at: [http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/General\\_Fire/TueAM/SarkosFAAFire/SarkosFAAFirePres.pdf](http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/General_Fire/TueAM/SarkosFAAFire/SarkosFAAFirePres.pdf) (Accessed July 2013).
4. Marker T. Burnthrough Overview. *Fifth Triennial Fire & Cabin Safety Research Conference*, October 29 – November 1, 2007, Atlantic City, NJ. Available at: <http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/Burnthrough/WedAM/MarkerBurnthrough/MarkerburnthroughoverviewPres.pdf> (Accessed July 2013).
5. *Composite materials handbook. Vol. 1. Polymer matrix composites guidelines for characterization of structural materials*, MIL-HDBK-17-1F. 586 p.
6. *Sposoby i sredstva ognезashchity drevesiny. Rukovodstvo* [Ways and means of fire safety wood. A manual]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1998. 23 p.
7. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Goreniye drevesiny i yeye pozharoопасnyye svoystva* [Burning of wood and its fire-dangerous properties]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2010. 262 p.
8. Zaikov G. E. (ed.) *Goreniye, destruktziya i stabilizatsiya polimerov* [Burning, destruction and stabilization of polymers]. St.-Petersburg, Scientific Bases and Technologies Publ., 2008. 422 p.
9. The impact of thermal aging on the flammability of electric cables. Prepared by S. P. Nowlen. *NUREG/CR-5619 SAND90-2121 Sandia National Laboratories*, 1991. 44 p. Available at: <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0625/ML062510133.pdf> (Accessed July 2013).
10. Clough R. L. Aging effects on fire-retardant additives in polymers. *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*, 1983, vol. 21, pp. 767–780.
11. Kirillov V. N., Startsev O. V., Efimov V. A. Klimaticheskaya stoykost i povrezhdayemost polimernykh kompozitsionnykh materialov, problemy i puti resheniya [Climatic stability and damageability of polymeric composite materials, problems and ways of the decision]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 5, pp. 412–423.
12. Tian W., Hodgkin J. Long-term aging in a commercial aerospace composite sample: chemical and physical changes. *Journal of Applied Polymer Science*, 2010, vol. 115, pp. 2981–2985.
13. Barbotko S. L. Puti obespecheniya pozharной bezопасnosti aviatsionnykh materialov [Ways of ensuring fire safety of aviation materials]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal — Russian Chemical Journal*, 2010, vol. LIV, no. 1, pp. 121–126.
14. Kuzmin S. V., Barbotko S. L. Vliyaniye nekotorykh faktorov na teplovydeleniye stekloplastikov [Influence of some factors on a heat release of fibreglasses]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2002, Issue 3, pp. 51–54.
15. Malova N. E., Kablov E. N., Kondrashov E. K., Verennikova N. P., Barbotko S. L. Polimernaya teplootrazhayushchaya kompozitsiya dlya pokrytiya [Polymeric heat-reflecting coating composition]. Patent RF, no. 2467042, 2011.
16. Shurkova E. N., Volnyy O. S., Izotova T. F., Barbotko S. L. Issledovaniye vozmozhnosti snizheniya teplovydeleniya pri goreni kompozitsionnogo materiala putem izmeneniya yego struktury [Research of an opportunity to reduction the heat release at burning for polymer composite material due to a changing of its structure]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 1, pp. 27–30.

17. Barbotko S. L., Kirillov V. N., Shurkova E. N. Otsenka pozharnoy bezopasnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov aviatsionnogo naznacheniya [Estimation of fire safety for polymeric composite materials of aviation purpose]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 3, pp. 56–63.
18. Barbotko S. L., Shurkova E. N. O pozharnoy bezopasnosti materialov, ispolzuyemykh dlya izgotovleniya vneshnego kontura samolyetov [About fire safety of the materials used for manufacturing of external contour of aircrafts]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 10, pp. 19–24.
19. Barbotko S. L., Shurkova E. N., Volnyy O. S., Skrylyev N. S. Otsenka pozharnoy bezopasnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov dlya vneshnego kontura aviatsionnoy tekhniki [Estimation of fire safety of polymeric composite materials for an external contour of aviation technics]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2013, no. 1, pp. 56–59.
20. Barbotko S. L., Golikov N. I. O kompleksnoy otsenke pozharnoy opasnosti materialov [About a complex estimation of fire danger of materials]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 6, pp. 16–24.
21. Kirillov V. N., Efimov V. A., Vapirov Yu. M. K voprosu o vozmozhnosti prognozirovaniya atmosferynoy stoykosti PKM [To question on opportunity of forecasting of atmospheric stability of PKM]. *Doklady VII nauchnoy konferentsii po gidroaviatsii “Gidrosalon–2008” — Reports of VII Scientific Conference on Hydroaviation “Gidrosalon–2008”*. Moscow, 2008, pp. 307–313.
22. Barbaux Y., Cinquin J. Materials for supersonic civil transport aircraft. In: *Aerospace Materials*. Ed. Brian Cantor, Hazel Assender and Patrick Grant. Department of Materials, University of Oxford, UK, 2001, pp. 28–37.



# Издательство «ПОЖНАУКА»

## ВНИМАНИЕ! Распространяется БЕСПЛАТНО!

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



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

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

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

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

**К. С. АЛЕКСЕЕВ**, аспирант Научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: brigalider@gmail.com)

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

**А. В. КАЛАЧ**, д-р хим. наук, доцент, заместитель начальника по научной работе Воронежского института Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: a\_kalach@mail.ru)

**Е. В. КАЛАЧ**, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры физики Воронежского института Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: EVKalach@gmail.com)

УДК 614.841:547.26

## ПРИМЕНЕНИЕ ДЕСКРИПТОРНОГО МЕТОДА QSPR ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ СПИРТОВ

Рассмотрен дескрипторный метод — QSPR, альтернативный используемой в России методике для прогнозирования температуры вспышки (ГОСТ 12.1.044), на примере предельных моноспиртов. Изучены корреляции температуры вспышки от 38 топологических дескрипторов. Предложены новые корреляционные уравнения.

**Ключевые слова:** спирты; расчет; температура вспышки; количественная взаимосвязь *структура — свойство* (QSPR).

Современные технологии, темпы развития которых растут год от года, захватывают, обновляют и реконструируют все новые области научного знания. Благодаря повсеместному внедрению специального научного программного обеспечения широкое развитие получила такая проблематика, как количественная взаимосвязь *структура — свойство* (Quantitative Structure – Property Relationship (QSPR)), позволяющая прогнозировать свойства вещества по его молекулярной структуре при помощи дескрипторов. Сами дескрипторы и представляют собой количественную меру взаимосвязи структуры и интересующего свойства.

В продолжение исследований [1–10] изучено влияние структуры соединений на температуру вспышки как одного из наиболее важных показателей пожаровзрывобезопасности. В рамках работы на основе баз данных [11–15] был сформирован массив из 50 спиртов, разделенный на обучающую и контрольную выборки (табл. 1).

Для обучающей выборки рассчитаны 38 топологических дескрипторов, которые наиболее точно описывают разницу в строении между структурными изомерами: Wiener index, Randic index (order 0), Randic index (order 1), Randic index (order 2), Randic index (order 3), Kier&Hall index (order 0), Kier&Hall index (order 1), Kier&Hall index (order 2), Kier&Hall

index (order 3), Kier shape index (order 1), Kier shape index (order 2), Kier shape index (order 3), Kier flexi-

**Таблица 1.** Обучающая выборка спиртов

| Спирт          | $T_{всп}, K$ | Спирт                  | $T_{всп}, K$ |
|----------------|--------------|------------------------|--------------|
| Метанол        | 284,2        | Изопропанол            | 468,2        |
| Этанол         | 286,2        | 2-Метил-2-пропанол     | 296,2        |
| n-Пропанол     | 297,6        | Пентанол-2             | 284,3        |
| n-Бутанол      | 310,5        | 2-Метилбутан-1-ол      | 303,2        |
| n-Пентанол     | 322,2        | 2,2-Диметил-1-пропанол | 299,2        |
| n-Гексанол     | 333,2        | 2-Этилбутан-1-ол       | 303,2        |
| n-Гептанол     | 346,2        | Гекса-2-ол             | 314,0        |
| n-Деканол      | 377,2        | 2-Метилпентан-1-ол     | 318,2        |
| n-Ундеканол    | 386,2        | Гептан-2-ол            | 323,2        |
| n-Додеканол    | 400,0        | 2-Октанол              | 310,0        |
| n-Тетрадеканол | 421,2        | 2-Этил-1-гексанол      | 344,2        |
| n-Пентадеканол | 429,0        | Изооктанол             | 346,0        |
| n-Гексадеканол | 443,0        | 2,6-Диметил-4-гептанол | 355,0        |
| n-Октадеканол  | 458,2        | 2-Додеканол            | 395,0        |
| n-Нонадеканол  | 464,0        | 6-Додеканол            | 373,0        |

**Таблица 2.** Шесть лучших корреляционных зависимостей топологических дескрипторов от температуры вспышки

| Дескриптор                                          | Уравнение для $T_{всп}$ (К)    | $r^2$  |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------|--------|
| Kier shape index (order 2)                          | $T_{всп} = 9,861x_1 - 8,64$    | 0,9809 |
| Average Complementary Information content (order 1) | $T_{всп} = 60,47x_2 + 169,88$  | 0,9308 |
| Kier&Hall index (order 0)                           | $T_{всп} = 16,37x_3 + 238,31$  | 0,9473 |
| Kier&Hall index (order 3)                           | $T_{всп} = 44,31x_3 + 277,46$  | 0,9355 |
| Kier shape index (order 1)                          | $T_{всп} = 11,462x_4 + 242,58$ | 0,9607 |
| Randic index (order 0)                              | $T_{всп} = 16,371x_5 + 229,26$ | 0,9473 |

bility index, Average Information content (order 0), Information content (order 0), Average Structural Information content (order 0), Structural Information content (order 0), Average Complementary Information content (order 0), Complementary Information content (order 0), Average Bonding Information content (order 0), Bonding Information content (order 0), Average Information content (order 1), Information content (order 1), Average Structural Information content (order 1), Structural Information content (order 1), Average Complementary Information content (order 1), Complementary Information content (order 1), Average Bonding Information content (order 1), Bonding Information content (order 1), Average Information content (order 2), Information content (order 2), Average Structural Information content (order 2), Structural Information content (order 2), Average Complementary Information content (order 2), Complementary Information content (order 2), Average Bonding Information content (order 2), Bonding Information content (order 2), Balaban index. На основе критического анализа полученных корреляционных зависимостей этих дескрипторов от температуры вспышки выбраны шесть лучших уравнений (табл. 2).

Переход от линейных к нелинейным зависимостям (полиномные, логарифмические, экспоненци-

**Таблица 3.** Данные расчета температуры вспышки дескрипторным методом и по ГОСТ 12.1.044–89

| Спирт                  | $t_{всп}$ по [15], °С | Расчет                |               |                      |               |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|----------------------|---------------|
|                        |                       | дескрипторным методом |               | по ГОСТ 12.1.044–89* |               |
|                        |                       | $t_{всп}$ , °С        | $\Delta$ , °С | $t_{всп}$ , °С       | $\Delta$ , °С |
| <i>n</i> -Октанол      | 86,6                  | 87,1                  | 0,5           | 85,5                 | 1,1           |
| <i>n</i> -Нонанол      | 96,0                  | 97,0                  | 1,0           | 98,5                 | 2,5           |
| <i>n</i> -Тридеканол   | 135,9                 | 136,4                 | 0,5           | 121,3                | 14,6          |
| Изобутанол             | 29,2                  | 30,5                  | 1,3           | 28,7                 | 0,5           |
| Пентанол-3             | 30,0                  | 30,5                  | 0,5           | 33,9                 | 3,9           |
| 3-Метилбутан-2-ол      | 26,0                  | 24,5                  | 1,5           | 31,3                 | 5,3           |
| 4-Метил-2-пентанол     | 40,9                  | 38,5                  | 2,4           | 44,4                 | 3,5           |
| 2,4-Диметил-3-пентанол | 36,9                  | 39,0                  | 2,1           | 48,9                 | 12,0          |
| 2-Бутилоктанол         | 109,0                 | 107,7                 | 1,3           | 118,7                | 9,7           |

$\Delta$  — абсолютная погрешность измерений, °С.

альные), а также увеличение числа переменных не дает существенного улучшения коэффициента корреляции  $r^2$ .

В ГОСТ 12.1.044–89\* для определения температуры вспышки  $t_{всп}$  (°С) органических соединений различных классов рекомендовано уравнение

$$t_{всп} = a + bt_{кип}, \quad (1)$$

где  $a, b$  — эмпирические коэффициенты; для спиртов  $a = -41,69$ ;  $b = 0,652$ ;

$t_{кип}$  — температура кипения, °С.

Для сравнительного анализа возможностей дескрипторного метода и методики ГОСТ 12.1.044–89\*, используемой традиционно в России для определения температуры вспышки, построена контрольная выборка моноспиртов и проведены сравнительные расчеты (табл. 3).

В результате сравнительного анализа установлено, что по методике ГОСТ 12.1.044–89\* прогноз температуры вспышки получается менее точным, чем по предлагаемому методу с использованием дескриптора Kier shape index (order 2).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолаы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30. URL : <http://fire-smi.ru/arhivpvb2010> (дата обращения: 20.01.2013 г.).
2. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 8–15. URL : <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (дата обращения: 20.01.2013 г.).
3. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 8–13. URL : <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (дата обращения: 20.01.2013 г.).

4. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IV. Простые эфиры // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 9–16. URL : <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (дата обращения: 20.01.2013 г.).
5. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. V. Карбоновые кислоты // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 35–46. URL : <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1008238> (дата обращения: 25.01.2013 г.).
6. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VI. Альдегиды // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 29–37. URL : <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1008238> (дата обращения: 25.01.2013 г.).
7. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Смирнов В. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VII. Нитроалканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 22–24. URL : <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1080352> (дата обращения: 25.01.2013 г.).
8. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 31–57.
9. 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.
10. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Животинская Л. О., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. X. Сложные эфиры (часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 9–19.
11. База данных университета Акрон (Akron). URL : <http://ull.che-mistry.uakron.edu/erd> (дата обращения: 15–20.06.2013 г.).
12. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (дата обращения: 20–25.06.2013 г.).
13. 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.
14. 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.
15. Chemical Database DIPPR 801 (Brigham Young University). URL : <http://www.aiche.org/dippr> (дата обращения: 13–15.06.2013 г.).

*Материал поступил в редакцию 18 сентября 2013 г.*

English

## APPLICATION QSPR FOR PREDICTING FLASH POINTS OF ALCOHOLS

**ALEKSEEV K. S.**, Postgraduate Student Scientific and Engineering Center "Reliability and Service to Large Systems and Machines" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation; e-mail address: brigalider@gmail.com)

**BARBIN N. M.**, Doctor of Technical Sciences, Head of Chemistry Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (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)

**KALACH A. V.**, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector on Scientific Work, Voronezh State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: a\_kalach@mail.ru)

**KALACH E. V.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Physics Department, Voronezh State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: EVKalach@gmail.com)

### ABSTRACT

The descriptor method — QSPR on the example of limit monoalcohols is considered alternative to a technique used in Russia for forecasting of temperature of flash of Interstate Standard 12.1.044.

Correlations of temperature of flash from 38 topological descriptors are studied. The new correlation equations are offered.

**Keywords:** alcohols; calculation; flash points; quantitative *structure–property* relationship (QSPR).

## REFERENCES

1. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. I. Alkanoly [Correlation of fire hazard indexes with chemical structure. I. Alcohols]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 23–30. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2010> (Accessed 20 January 2013).
2. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. II. Ketony (chast 1) [Correlation of fire hazard indexes with chemical structure. II. Ketones (part 1)]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 20 January 2013).
3. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. III. Ketony (chast 2) [Correlation of fire hazard indexes with chemical structure. III. Ketones (part 2)]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 8–13. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 20 January 2013).
4. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. IV. Prostyye efiry [Correlation of fire hazard indexes with chemical structure. IV. Ethers]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 9–16. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 20 January 2013).
5. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. V. Karbonovyye kisloty [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. V. Carboxylic acids]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 35–46. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1008238> (Accessed 25 January 2013).
6. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VI. Aldegidy [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VI. Aldehydes]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 29–37. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1008238> (Accessed 25 January 2013).
7. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VII. Nitroalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VII. Nitroalkanes]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 22–24. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1080352> (Accessed 25 January 2013).
8. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VIII. Esters (part 1)]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 31–57.
9. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. IX. Khloralkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. IX. Chloralkanes]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 13–21.
10. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Zhivotinskaya L. O., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. X. Slozhnyye efiry (chast 2) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. X. Esters (part 2)]. *Pozharovryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 13–21.
11. Akron University database. Available at: <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd> (Accessed 15–20 June 2013).
12. Sigma-Aldrich database. Available at: <http://www.sigma-aldrich.com/catalog> (Accessed 20–25 June 2013).
13. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.
14. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part II, 774 p.
15. Chemical Database DIPPR 801. Available at: <http://www.aiche.org/dippr> (Accessed 13–15 June 2013).

**Д. В. БАТОВ**, д-р хим. наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры химии, теории горения и взрыва ФГБОУ "Ивановский институт Государственной противопожарной службы МЧС России" (Россия, 153040, г. Иваново, просп. Строителей, 33); ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки "Институт химии растворов им. Г. А. Крестова РАН (Россия, 153045, г. Иваново, ул. Академическая, 1; e-mail: bdv@dsn.ru)

**Т. А. МОЧАЛОВА**, канд. биол. наук, старший преподаватель кафедры химии, теории горения и взрыва ФГБОУ "Ивановский институт Государственной противопожарной службы МЧС России" (Россия, 153040, Иваново, просп. Строителей, 33)

**А. В. ПЕТРОВ**, канд. хим. наук, доцент, начальник кафедры химии, теории горения и взрыва ФГБОУ "Ивановский институт Государственной противопожарной службы МЧС России" (Россия, 153040, Иваново, просп. Строителей, 33)

УДК 614.835-544.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ БИНАРНЫХ НЕВОДНЫХ СМЕСЕЙ ЖИДКОСТЕЙ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ОТКЛОНЕНИЯМИ ОТ ЗАКОНА РАУЛЯ

Экспериментально измерены температуры вспышки в трех системах: бутанол-1 (BuOH) + диметилсульфоксид (DMSO), 2-метилпропанол-1 (iBuOH) + *n*-пентадекан (PD) и этиленгликоль (EG) – диметилсульфоксид. Показано, что выбор смесей растворителей был обусловлен положительным и отрицательным отклонениями от закона Рауля. Установлено, что температура вспышки смесей EG + DMSO, содержащих 0,2–0,4 мольных долей DMSO, на 3–4 °C превышает температуру вспышки труднолетучего компонента (EG). Систем с минимумом температуры вспышки среди исследованных смесей растворителей не обнаружено.

**Ключевые слова:** температура вспышки; бинарные смеси; отклонение давления пара от закона Рауля; бутанол-1; диметилсульфоксид; 2-метилпропанол-1; *n*-пентадекан; этиленгликоль.

Растворы, компоненты которых существенно различаются по физическим и химическим свойствам, подчиняются закону Рауля лишь в области очень малых концентраций, а при больших концентрациях наблюдаются отклонения от закона Рауля. Системы, в которых истинные парциальные давления паров компонентов над смесью больше вычисленных по закону Рауля, называют системами с положительными отклонениями. Противоположное поведение, когда парциальные давления паров компонентов оказываются меньше вычисленных, наблюдается у смесей с отрицательным отклонением от закона Рауля. Анализ литературных данных [1, 2] по температурам вспышки смешанных растворителей показал, что для неидеальных растворов на зависимостях температуры вспышки от состава могут существовать минимумы и максимумы. В точке минимума температура вспышки может быть на несколько градусов ниже точки вспышки легколетучего компонента. Как справедливо отмечено в работе [3], такая ситуация повышает риск взрыва. Примерами таких смесей являются системы с положительным отклонением от закона Рауля [4–6]. Максимум на кривой поведения точки вспышки обусловлен отрицатель-

ным отклонением от закона Рауля, что связано с понижением риска взрыва [7]. Экспериментальных данных, иллюстрирующих предсказанные закономерности, известно мало. В связи с этим в настоящей работе измерены температуры вспышки следующих смесей: *пентадекан* (PD) – *изобутиловый спирт* (iBuOH), *бутанол-1* (BuOH) – *диметилсульфоксид* (DMSO) и *этиленгликоль* (EG) – *диметилсульфоксид*.

Реальные растворы с положительными отклонениями от закона Рауля образуются из чистых компонентов с поглощением теплоты (энтальпия смешения  $H^E > 0$ ); объем раствора при этом оказывается больше, чем сумма исходных объемов компонентов ( $\Delta V > 0$ ). Растворы с отрицательными отклонениями от закона Рауля образуются с выделением теплоты ( $H^E < 0$ ); объем раствора в этом случае будет меньше суммы исходных объемов компонентов ( $\Delta V < 0$ ).

Исходя из имеющихся данных по энтальпиям смешения [8, 9] (рис. 1), смесь *этиленгликоль* – *диметилсульфоксид* следует отнести к системам с отрицательным отклонением от закона Рауля, а систему *бутанол-1* – *диметилсульфоксид* — к системам с положительным отклонением от него. Вероятно,

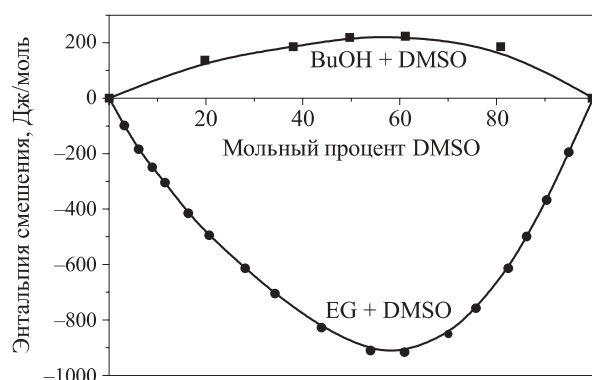


Рис. 1. Энthalпии смешения в системах бутанол-1 – диметилсульфоксид при 296 К и этиленгликоль – диметилсульфоксид при 308 К

такое же поведение будет свойственно и смеси *пентадекан – изобутиловый спирт*. Согласно [10] смеси *алканол – алкан* характеризуются положительными энthalпиями смешения.

### Экспериментальная часть

В работе использовали следующие вещества:

- *н*-пентадекан квалификации “ч” без дополнительной очистки;
- бутанол-1 квалификации “хч” без дополнительной очистки;
- 2-метилпропанол-1 (изобутиловый спирт) квалификации “хч” без дополнительной очистки;
- диметилсульфоксид квалификации “ч” с однократной перегонкой под вакуумом ( $P \approx 0,05$  мм рт. ст.,  $t_{\text{кип}} = 87$  °С);
- этиленгликоль квалификации “осч” без дополнительной очистки.

Приготовление смесей проводили весовым методом. Измерения температуры вспышки для смесей *пентадекан – изобутиловый спирт* выполняли с помощью автоматического регистратора температуры вспышки нефтепродуктов “Вспышка-А”, для смесей *бутанол-1 – диметилсульфоксид* и *этиленгликоль – диметилсульфоксид* — с помощью прибора ПВНЭ\*.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

Полученные результаты измерений температуры вспышки исследованных трех систем представлены в таблице. Протоколы испытаний на вспышку были опубликованы нами ранее в работе [11].

В таблице  $\Delta_{\text{ср}}$  — среднее арифметическое значение абсолютных отклонений расчетных величин, вычисленное по уравнению

$$\Delta_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \Delta_i / n, \quad (1)$$

где  $n$  — число экспериментальных точек;  
 $\Delta_i$  — отклонение  $i$ -го результата;

$$\Delta_i = t_{\text{всп.расч}} - t_{\text{всп.эксп}}; \quad (2)$$

$t_{\text{всп.расч}}$ ,  $t_{\text{всп.эксп}}$  — соответственно расчетное и экспериментальное значения температуры вспышки.

Следует отметить, что полученные нами экспериментальные значения температуры вспышки чистых BuOH, 2-метилпропанола-1, DMSO и этиленгликоля (см. таблицу) хорошо согласуются с литературными данными, которые составляют соответственно 35, 28, 88 и 111 °С [12, 13]. Отклонение 5 °С для пентадекана также находится в пределах погрешности измерений прибора “Вспышка-А” в данном температурном интервале.

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что в исследованной системе *2-метилпропанол-1 – н-пентадекан* температура вспышки смеси равна температуре вспышки легколетучего компонента в интервале 1,0–0,2 его мольной доли (м. д.). Однако минимума на зависимости температуры вспышки от состава смеси не наблюдается.

Как уже указывалось выше, система *этиленгликоль – диметилсульфоксид* характеризуется большой отрицательной энthalпией смешения, что позволяет отнести ее к системам с отрицательным отклонением от закона Рауля. Для этой системы, как и следовало ожидать, зависимость температуры вспышки от

Экспериментальные и расчетные температуры вспышки исследованных смесей жидкостей

| $X_2$                | Бутанол-1 – диметилсульфоксид |        | 2-Метилпропанол-1 – н-пентадекан |        | Этиленгликоль – диметилсульфоксид |        |
|----------------------|-------------------------------|--------|----------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|
|                      | Эксп.                         | Расчет | Эксп.                            | Расчет | Эксп.                             | Расчет |
| 0                    | 37                            | 37     | 28                               | 28     | 108                               | 108    |
| 0,2                  | 40                            | 38     | 28                               | 32     | 112                               | 106    |
| 0,4                  | 45                            | 42     | 28                               | 36     | 111                               | 100    |
| 0,6                  | 52                            | 48     | 29                               | 43     | 107                               | 95     |
| 0,8                  | 60                            | 58     | 30                               | 54     | 101                               | 91     |
| 0,9                  | 71                            | 66     |                                  | 67     |                                   | 89     |
| 1,0                  | 88                            | 88     | 120                              | 120    | 88                                | 88     |
| $\Delta_{\text{ср}}$ |                               | 3      |                                  | 13     |                                   | 9      |

Примечания:

1.  $X_2$  — мольная доля второго компонента в смеси.
2. Экспериментальный результат представляет собой среднее значение 3–7 измерений температуры вспышки.
3. Погрешность всех измерений составляет  $\pm 1$  °С.
4. Расчет из условия (4) производится без учета температурной зависимости НКПР обоих компонентов.

\* Авторы благодарят курсанта Ивановского института ГПС МЧС России А. В. Мочалова за участие в определении температуры вспышки жидкостей.

состава имеет максимум при содержании 0,2 м. д. DMSO. Температура вспышки указанной смеси на 4 °С превышает температуру вспышки труднолетучего компонента.

Температура вспышки двойной смеси может быть оценена моделью, развитой Лиу с соавторами [1]. Для реального раствора используется уравнение (3), для идеального — (4):

$$\frac{x_1 \gamma_1 P_1^{\text{нас}}}{P_{1\text{всп}}^{\text{нас}}} + \frac{x_2 \gamma_2 P_2^{\text{нас}}}{P_{2\text{всп}}^{\text{нас}}} = 1; \quad (3)$$

$$\frac{x_1 P_1^{\text{нас}}}{P_{1\text{всп}}^{\text{нас}}} + \frac{x_2 P_2^{\text{нас}}}{P_{2\text{всп}}^{\text{нас}}} = 1. \quad (4)$$

В формулах (3) и (4)  $x$  — мольная доля компонента в растворе;  $\gamma$  — коэффициент активности компонента;  $P_1^{\text{нас}}$ ,  $P_2^{\text{нас}}$  — давление насыщенного пара 1-го и 2-го компонентов при температуре  $T$ ;  $P_{1\text{всп}}^{\text{нас}}$ ,  $P_{2\text{всп}}^{\text{нас}}$  — давление насыщенного пара соответственно 1-го и 2-го компонентов смеси при температуре вспышки.

На рис. 2 представлены отклонения (по формуле (2)) температур вспышки исследуемых смесей, рассчитанных из условия (4), от экспериментальных значений.

Приведенные на рис. 2 данные показывают, что расчет температуры вспышки смеси из условия (4) дает результаты, близкие к экспериментальным значениям только для смеси *бутанол-1* — *диметилсульфоксид*. Приближение для идеального раствора (4) плохо прогнозирует температуру вспышки смесей *2-метилпропанол-1* — *н-пентадекан*. В первую очередь это относится к смесям с большим содержанием пентадекана. Так, при концентрации пентадекана 0,8 м. д. отклонения при расчете превышают 25 °С. Такие различия расчетных и экспериментальных данных обусловлены существенным отклонением исследованной смеси *2-метилпропанол-1* — *н-пентадекан* от идеального раствора и, вероятно, большим положительным отклонением от закона Рауля. Следует отметить, что разности расчетных и экспериментальных данных (по формуле (2)) имеют положительные значения.

Расчет температуры вспышки смеси *этиленгликоль* — *диметилсульфоксид* из условия (4) плохо прогнозирует температуру вспышки смешанного растворителя. В отличие от системы *2-метилпропанол-1* — *н-пентадекан* здесь наибольшее различие между расчетными и экспериментальными значениями приходится на средние составы.

Следует также отметить, что в противоположность смеси *2-метилпропанол-1* — *н-пентадекан* раз-

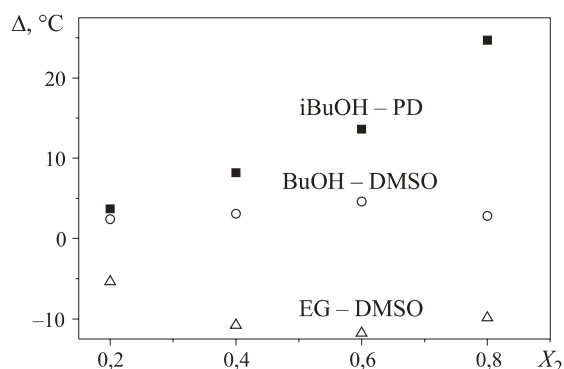


Рис. 2. Отклонения температур вспышки исследуемых систем, рассчитанных по формуле (4), от экспериментальных значений

ности расчетных и экспериментальных температур вспышки смесей *этиленгликоль* — *диметилсульфоксид* имеют отрицательные значения. Исходя из полученных данных, можно предположить, что для смесей растворителей с сильным отклонением от идеального раствора знак разности между расчетными и экспериментальными температурами вспышки соответствует знаку отклонения давления пара от закона Рауля.

## Выводы

Экспериментально измерены температуры вспышки в трех системах. Выбор смесей растворителей был обусловлен положительным (*бутанол-1* — *диметилсульфоксид*, *2-метилпропанол-1* — *н-пентадекан*) и отрицательным (*этиленгликоль* — *диметилсульфоксид*) отклонениями от закона Рауля.

Экспериментально подтверждена гипотеза, согласно которой на зависимости температуры вспышки от состава смеси могут наблюдаться максимумы в случае отрицательного отклонения от закона Рауля и минимумы — при положительном отклонении от него. Так, для системы *этиленгликоль* — *диметилсульфоксид* температура вспышки смесей, содержащих 0,2–0,4 м. д. DMSO, на 3–4 °С превышает температуру вспышки труднолетучего компонента (*этиленгликоля*). Среди исследованных смесей растворителей систем с минимумом температуры вспышки не обнаружено.

На основании полученных данных сделано предположение, что для смесей растворителей с сильным отклонением от идеального раствора знак разности между расчетными и экспериментальными температурами вспышки соответствует знаку отклонения парциального давления пара компонентов от закона Рауля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liaw H.-J., Lee Y.-H., Tang C.-L. A mathematical model for predicting the flash point of binary solutions // J. Loss Prev. Proc. Ind. — 2002. — Vol. 15, No. 6. — P. 429–438.
2. Liaw H.-J., Chiu Y.-Y. The prediction of the flash point for binary aqueous-organic solutions // J. Hazard Mater. — 2003. — No. 101. — P. 83–106.
3. Есина З. Н., Корчуганова М. Р., Мурашкин В. В. Прогнозирование температуры вспышки бинарных жидких смесей // Проблемы мониторинга окружающей среды (ЕМ-2011) : сб. трудов XI Всероссийской конференции с участием иностранных ученых, 24–28 октября 2011 г. — Кемерово : КемГУ, 2011. — 338 с.
4. Catoire L., Paulmier S., Naudet V. Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends // J. Phys. Chem. Ref. Data. — 2006. — No. 35. — P. 9–14.
5. Vidal M., Rogers W. J., Mannan M. S. Prediction of minimum flash point behaviour for binary mixtures // Process Saf. Environ. Prot. — 2006. — No. 84. — P. 1–9.
6. Liaw H.-J., Lee T.-P., Tsai J.-S., Hsiao W.-H., Chen M.-H., Hsu T.-T. Binary liquid solutions exhibiting minimum flash-point behavior // J. Loss Prev. Proc. Ind. — 2003. — No. 16. — P. 173–186.
7. Liaw H.-J., Lin S.-C. Binary mixtures exhibiting maximum flash-point behavior // J. Hazard. Mater. — 2007. — No. 140. — P. 155–164.
8. Lindberg J. J., Pietila I. Heats of Mixing of Binary Systems Containing Dimethyl Sulphoxide and Alcohols or Acetic Acid // Suom. Kem. — 1962. — B35, No. 2. — P. 30–33.
9. Comelli F., Ottani S., Francesconi R., Castellari C. Excess Molar Enthalpies of Binary Mixtures Containing Glycols or Polyglycols + Dimethyl Sulfoxide at 308.15 K // J. Chem. Eng. Data. — 2003. — Vol. 48, No. 4. — P. 995–998.
10. Белоусов В. П., Морачевский А. Г. Теплоты смешения жидкостей. — Л. : Химия, 1970. — 256 с.
11. Мочалов А. В., Мочалова Т. А., Батов Д. В. Температуры вспышки бинарных неводных смесей жидкостей: пентадекан – изобутиловый спирт, бутанол-1 – диметилсульфоксид и этиленгликоль – диметилсульфоксид // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. — 2013. — № 1 (18). — С. 31–40.
12. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2-х ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — 713 с.
13. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2-х ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. II. — 774 с.

Материал поступил в редакцию 26 августа 2013 г.

English

## FLASH POINT STUDY OF BINARY NONAQUEOUS MIXTURES OF LIQUIDS WITH POSITIVE AND OF NEGATIVE DEVIATIONS FROM THE RAOULT'S LAW

**BATOV D. V.**, Doctor of Chemical Sciences, Senior Researcher, Professor of Chemistry, Burning and Explosion Theory Department, Ivanovo State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation); Leading Researcher of G. A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences (Akademicheskaya St., 1, Ivanovo, 153045, Russian Federation; e-mail address: bdrv@dsn.ru)

**MOCHALOVA T. A.**, Candidate of Biology Sciences, Senior Lecturer of Chemistry, Burning and Explosion Theory Department, Ivanovo State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation)

**PETROV A. V.**, Candidate of Chemistry Sciences, Associated Professor, Head of Chemistry, Burning and Explosion Theory Department, Ivanovo State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation)

### ABSTRACT

Flash points of three systems butanol-1 (BA) + dimethylsulfoxide (DMSO), 2-metilpropanol-1 (MPA) + *n*-pentadekan (PD) and ethylene glycol (EG) + dimethylsulfoxide are experimentally measured.

The choice of mixtures is caused by the positive (BA – DMSO, MPA – PD) and negative (EG – DMSO) deviations from Raoult's law.

The hypothesis according to which on the dependence of the flash point of the composition of the mixture can be observed maxima in the case of a negative deviation from Raoult's law and minima in the case of a positive deviation from Raoult's law is confirmed. Flash point of the mixtures EG + DMSO, containing 0.2–0.4 mole fraction DMSO, on 3–4 degrees above the flash point of nonvolatile component (EG). Among the investigated mixtures systems with a minimum of flash point are not detected.

Flash points of mixtures studied in the approximation of the ideal solution have been calculated. Based on the data obtained, the assumption that for mixtures with a strong deviation from the ideal solution properties the sign of the difference between the calculated and experimental flash points corresponds to the sign of the deviation of vapor pressure from Raoult's law has been made.

**Keywords:** flash point; binary mixtures; deviation of vapor pressure from Raoult's law; butanol-1; dimethylsulfoxide; 2-metilpropanol-1; *n*-pentadekan; ethylene glycol.

## REFERENCES

1. Liaw H.-J., Lee Y.-H., Tang C.-L. A mathematical model for predicting the flash point of binary solutions. *J. Loss Prev. Proc. Ind.*, 2002, vol. 15, no. 6, pp. 429–438.
2. Liaw H.-J., Chiu Y.-Y. The prediction of the flash point for binary aqueous-organic solutions. *J. Hazard Mater.*, 2003, no. 101, pp. 83–106.
3. Yesina Z. N., Korchuganova M. R., Murashkin V. V. Prognozirovaniye temperatury vspyshki binarnykh zhidkikh smesey [Forecasting of flash point the binary liquid mixtures]. *Problemy monitoringa okruzhayushchey sredy (EM–2011): sbornik trudov XI Vserossiyskoy konferentsii s uchastiyem inostrannykh uchenykh, 24–28 oktyabrya 2011* [Proc. XI Russian conference “Monitoring problems environment”, 24–28 October 2011]. Kemerovo, Kemerovo State University Publ., 2011. 338 p.
4. Catoire L., Paulmier S., Naudet V. Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends. *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 2006, no. 35, pp. 9–14.
5. Vidal M., Rogers W. J., Mannan M. S. Prediction of minimum flash point behaviour for binary mixtures. *Process Saf. Environ. Prot.*, 2006, no. 84, pp. 1–9.
6. Liaw H.-J., Lee T.-P., Tsai J.-S., Hsiao W.-H., Chen M.-H., Hsu T.-T. Binary liquid solutions exhibiting minimum flash-point behavior. *J. Loss Prev. Proc. Ind.*, 2003, no. 16, pp. 173–186.
7. Liaw H.-J., Lin S.-C. Binary mixtures exhibiting maximum flash-point behavior. *J. Hazard. Mater.*, 2007, no. 140, pp. 155–164.
8. Lindberg J. J., Pietila I. Heats of Mixing of Binary Systems Containing Dimethyl Sulphoxide and Alcohols or Acetic Acid. *Suom. Kem.*, 1962, B35, no. 2, pp. 30–33.
9. Comelli F., Ottani S., Francesconi R., Castellari C. Excess molar enthalpies of binary mixtures containing glycols or polyglycols + dimethyl sulfoxide at 308.15 K. *J. Chem. Eng. Data*, 2003, vol. 48, no. 4, pp. 995–998.
10. Belousov V. P., Morachevskiy A. G. *Teploty smesheniya zhidkostey* [The mixing heats of liquids]. Leningrad, Khimiya Publ., 1970. 256 p.
11. Mochalov A. V., Mochalova T. A., Batov D. V. Temperatury vspyshki binarnykh nevodnykh smesey zhidkostey: pentadekan – izobutilovyy spirt, butanol-1 – dimetilsulfoksid i etilenglikol – dimetilsulfoksid [Flash point of binary nonaqueous mixtures of liquids pentadecane – isobutyl alcohol, 1-butanol – ethylene glycol and dimethyl sulfoxide – ethylene glycol]. *Vestnik Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii – Bulletin of Ivanovo State Fire Service Institute of Emercom of Russia*, 2013, no. 1, pp. 31–40.
12. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. 2-e izd.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference book. 2<sup>nd</sup> ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.
13. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. 2-e izd.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference book. 2<sup>nd</sup> ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part II, 774 p.

**Л. Ю. КАТАЕВА**, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры прикладной математики Нижегородского государственного технического университета им. П. Е. Алексеева (Россия, 603950, ГСП-41, г. Н. Новгород, ул. Минина, 24; e-mail: kataeval2010@mail.ru)

**А. Д. ПОСТНОВ**, аспирант кафедры прикладной математики Нижегородского государственного технического университета им. П. Е. Алексеева (Россия, 603950, ГСП-41, г. Н. Новгород, ул. Минина, 24)

**С. А. ЛОЩИЛОВ**, генеральный директор ООО "Телеметрия" (Россия, 606523, Нижегородская обл., Городецкий р-н, г. Заволжье, просп. Дзержинского, 5, оф. 37)

**Д. А. МАСЛЕННИКОВ**, канд. физ.-мат. наук, ведущий инженер Студенческого бизнес инкубатора Нижегородского государственного технического университета им. П. Е. Алексеева (Россия, 603950, ГСП-41, г. Н. Новгород, ул. Минина, 24; e-mail: dmitrymaslennikov@rambler.ru)

УДК 519.63,536.46

## О ВЛИЯНИИ ВОДНОГО БАРЬЕРА НА ДИНАМИКУ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Рассмотрено влияние рельефа на количество воды в водном барьере, требуемое для тушения пожара. Показано, что увеличение количества воды, необходимого для тушения пожара на плато холма, можно объяснить большей интенсивностью горения на местности такого рельефа. Показано также, что, несмотря на существенное снижение скорости распространения пожара в овраге, тушение его там неэффективно, так как обтекание оврага способствует растягиванию фронта пожара.

**Ключевые слова:** водный барьер; лесной пожар; тушение пожаров; численное моделирование.

Одним из основных средств тушения лесных пожаров является, как правило, вода. В ее неэффективном использовании заключается главный недостаток существующих подходов к тушению пожаров. Особенности рельефа местности обуславливают возникновение эффектов обтекания, которые в свою очередь существенно влияют на динамику развития пожара. Основным результатом существующих полумпирических моделей является, как правило, контур пожара на заданный момент времени и скорость пожара. Такие модели не учитывают гидродинамику пожара, тогда как поле скоростей определяет параметры конвективных потоков тепловой энергии во время пожара. В отличие от существующих полумпирических моделей в данной работе предполагается использовать физическую модель взаимодействия воды с пожаром.

В математических моделях лесных пожаров, рассмотренных в работах Катаевой [1] и Масленникова [2], скорость химико-физических процессов, в том числе испарения воды, вычисляется по закону Аррениуса. В отличие от влаги, находящейся в древесине, у свободной воды существует температура кипения, которую можно приблизительно считать постоянной с учетом перепада давления в области горения. Скорость кипения определяется интенсивностью подвода тепловой энергии к жидкости. При этом с достаточной для модели точностью можно

считать, что жидкость не нагревается выше температуры кипения.

В настоящей статье тушением пожара называется процесс взаимодействия фронта пожара со свободной водой, которая, испаряясь, поглощает энергию пожара и, вытесняя кислород, препятствует распространению пожара. Если сложились условия, при которых продолжение пожара невозможно, то такое тушение считается успешным.

Для моделирования взаимодействия свободной воды с пожаром в математическую постановку [3, 4] вводится соответствующая ей новая фаза и соотношения [5]:

$$\rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = -R_4; \quad (1)$$

$$R_4 = \begin{cases} \theta \varphi_4 \varepsilon^{-1} & \text{при } T > 373 + \varepsilon \\ 0 & \text{при } T < 373 - \varepsilon \\ 0,5\theta [T - (373 - \varepsilon)] \varphi_4 \varepsilon^{-2} & \text{при } 373 - \varepsilon \leq T \leq 373 + \varepsilon \end{cases}; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \left[ \left( \sum_{i=1}^4 \rho_i \varphi_i c_{pi} + \rho_5 c_{p5} \right) T \right]}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_5 c_{p5} U T)}{\partial x} + \\ & + \frac{\partial (\rho_5 c_{p5} W T)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_l \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_l \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \\ & - q_2 R_2 + q_3 R_3 - q_4 R_4 + q_5 R_5 + \\ & + k_s [c U_R - 4\sigma (T^4 - T_e^4)]; \end{aligned} \quad (3)$$

$$Q = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + R_4 + \frac{M_c}{M_1} R_3, \quad (4)$$

где  $\rho_4$  — плотность воды,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $\varphi_4$  — объемная доля свободной воды;  
 $R_4$  — массовая скорость кипения свободной воды, приведенная к объему,  $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^3)$ ;  
 $\theta$  — константа,  $\text{кг} \cdot \text{К}/(\text{с} \cdot \text{м}^3)$ ;  
 $\varepsilon$  — достаточно малая положительная константа, К;  
 $T$  — температура среды, К;  
 $373$  — температура кипения свободной воды, К;  
 $\rho_i, \varphi_i, c_{pi}$  — плотность ( $\text{кг/м}^3$ ), объемная доля и удельная теплоемкость ( $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ )  $i$ -й фазы;  
 $U, W$  — горизонтальная и вертикальная компоненты скорости газовой фазы,  $\text{м/с}$ ;  
 $\lambda_i$  — теплопроводность газовой фазы,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;  
 $q_i, R_i$  — удельный тепловой эффект ( $\text{Дж/кг}$ ) и массовая скорость ( $\text{кг/с}$ ) химико-физических процессов ( $i = 2$  — испарение влаги, находящейся в лесных горючих материалах,  $i = 3$  — горение конденсированных продуктов пиролиза,  $i = 4$  — кипение свободной воды,  $i = 5$  — горение летучих продуктов пиролиза);  
 $k_s$  — спектральный коэффициент поглощения;  
 $c$  — скорость света,  $\text{м/с}$ ;  
 $U_R$  — плотность потока излучения на единицу объема,  $\text{кг} \cdot \text{м}^4/\text{с}^2$ ;  
 $\sigma$  — постоянная Стефана–Больцмана,  $\text{кг}/(\text{с}^3 \cdot \text{К}^4)$ ;  
 $T_e$  — температура окружающей среды, К;  
 $Q$  — массовая скорость выделения газовой фазы в объеме,  $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^3)$ ;  
 $\alpha_c$  — коксовое число горючих материалов;  
 $M_c, M_1$  — молярная масса соответственно углерода и сухого органического вещества,  $\text{кг/моль}$ .

С одной стороны, уравнение (2) моделирует резкое возникновение реакции кипения при достижении заданной температуры, а с другой — зависимость скорости протекания данной реакции от температуры носит непрерывный характер. В уравнения (3) и (4) вносится тепловой эффект от реакции кипения и переход массы испарившейся воды в массу водяного пара.

В данной статье рассматривается моделирование тушения пожара с помощью расположенного на пути его распространения водного барьера. Барьер шириной 0,4 м находится на расстоянии 20 м от левого края расчетной области. По вертикали он занимает всю высоту леса. В начальный момент вода в барьере распределена равномерно. Начальные условия объемной доли воды в барьере имеют вид:

$$\varphi_{4b} = \varphi_1 \frac{\rho_1}{\rho_4} w_b, \quad (5)$$

где  $\varphi_{4b}$  — начальная объемная доля свободной воды в барьере;

$\varphi_1$  — объемная доля сухого органического вещества;

$\varphi_b$  — отношение массы воды к массе лесных горючих материалов в барьере.

С физической точки зрения водный барьер может быть образован благодаря смачиванию лесных материалов и накоплению в них влаги. Для расчета количества воды, требуемой для создания водного барьера,  $m_w$  (кг) можно использовать соотношение

$$m_w = V_b \rho_4 \varphi_{4b} \eta^{-1}, \quad (6)$$

где  $V_b$  — объем водного барьера,  $\text{м}^3$ ;

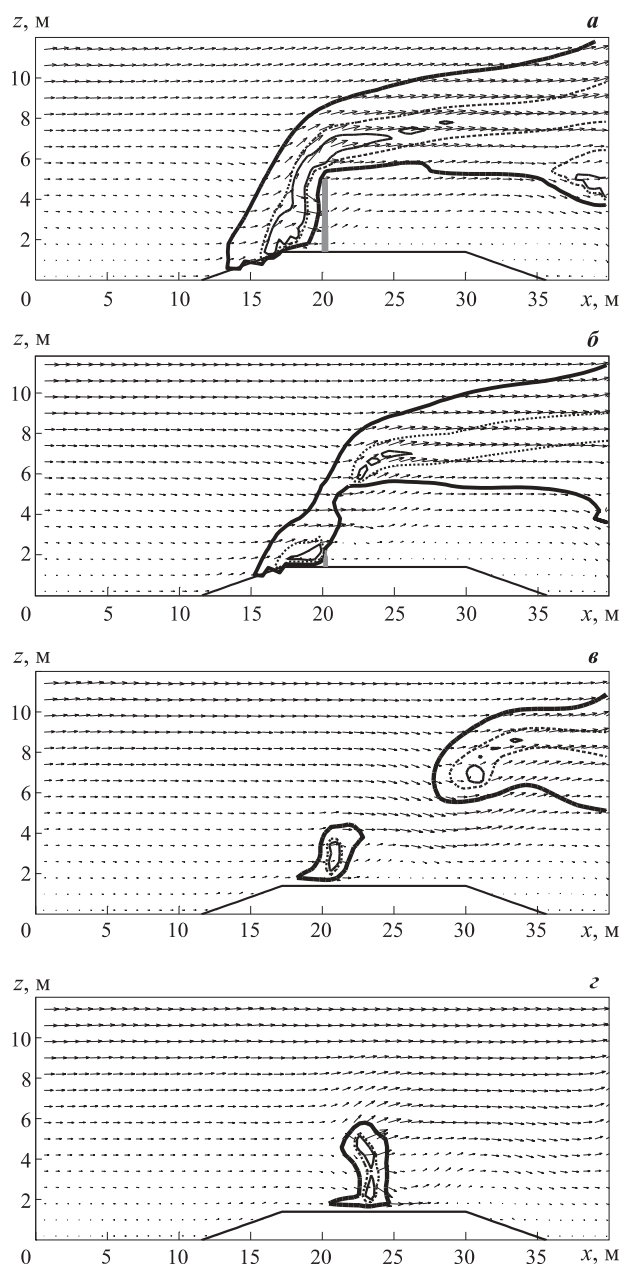
$\eta$  — доля воды, оставшейся в слое лесных горючих материалов с учетом ее потери на протекание.

При проведении вычислений предполагается, что в каждой ячейке, имеющей температуру выше 373 К и некоторую долю свободной воды, имеет место кипение последней. Его скорость определяется минимальной разницей между количеством свободной воды, содержащейся в ячейке, и тем количеством, для кипения которого достаточно энергии.

В силу особенностей моделирования начального очага для перехода пожара в установившийся режим требуется некоторое время. С учетом необходимости установления стационарного режима очаг пожара был задан на расстоянии 12 м от водного барьера. В момент встречи пожара с водной преградой начинается процесс кипения. Еще до подхода части пожара с максимальной температурой горячая газовая смесь начинает воздействовать на воду в барьере, инициируя ее испарение.

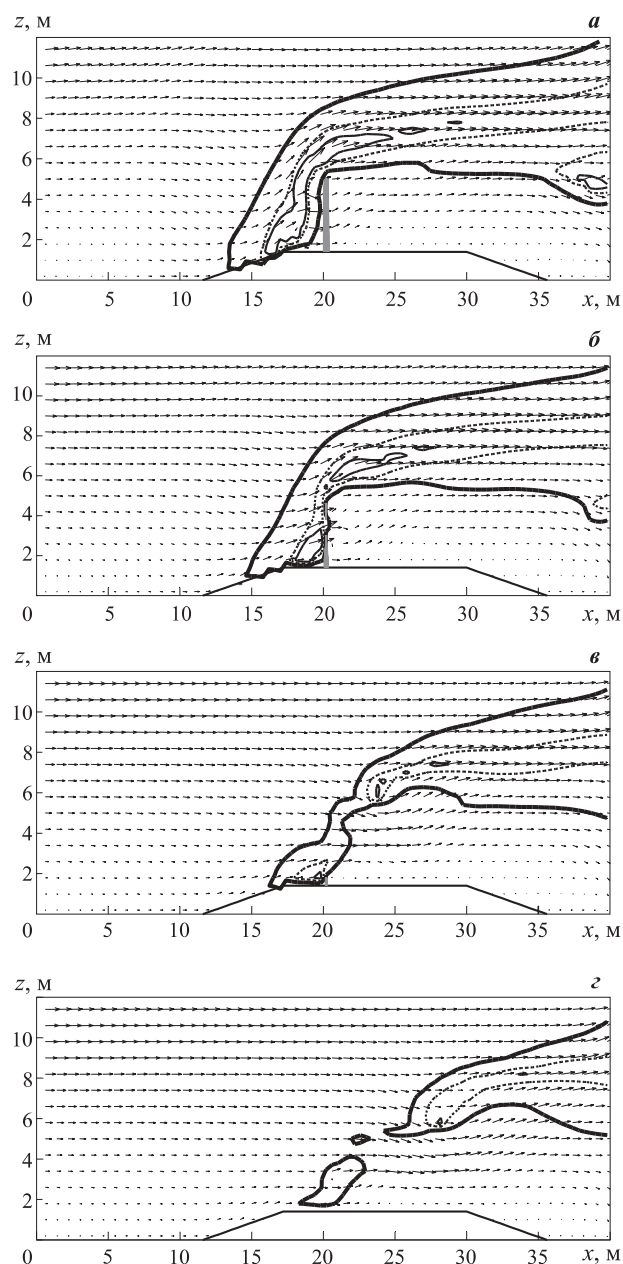
Согласно расчетам (рис. 1–6) пожар может либо преодолеть барьер, либо погаснуть в зависимости от доли воды в барьере. Для выполнения расчетов были выбраны три модельные конфигурации рельефа — холм, равнина и овраг.

Для определения критической доли воды  $w_{b \text{ кр}}$ , необходимой для предотвращения дальнейшего распространения пожара, был использован метод дихотомии. При проведении расчетов предполагается, что при любом значении  $w_b < w_{b \text{ кр}}$  пожар преодолевает барьер, а при  $w_b > w_{b \text{ кр}}$  — гаснет. Если  $w_{b \text{ кр}} = 0$ , то при сложившихся условиях пожар гаснет даже при отсутствии барьера. Чтобы проверить, был ли пожар успешно потушен с помощью водного барьера или нет, используются два ключевых критерия: максимальная температура внутри полога леса и массовая доля сухого органического вещества на расстоянии 4 м от правой границы расчетной области. Если максимальная температура в пологе леса упала ниже 700 К, значит, пожар успешно потушен. Если доля сухого органического вещества на расстоянии 4 м от границы составляет менее 0,5 $\varphi_{1e}$ , значит, пожар преодолел барьер.



**Рис. 1.** Динамика развития лесного пожара при распространении его через водный барьер по холму при  $w_b = 1,23$ : а —  $t = 6,8$  с; б —  $t = 8$  с; в —  $t = 9,2$  с; г —  $t = 11,2$  с

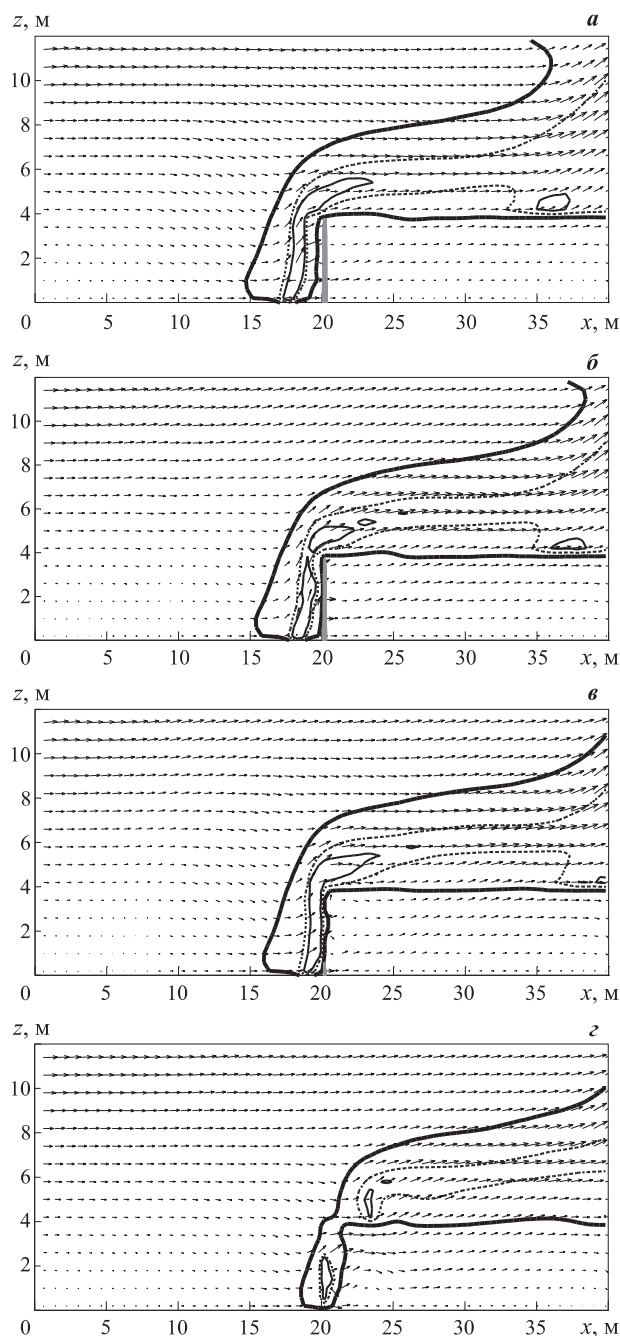
Необходимость моделирования гидродинамики пожара накладывает существенные ограничения на величину шага по времени, поэтому важно использовать все доступные возможности по уменьшению времени вычислений. Одним из способов сокращения времени является применение методов первого порядка точности, например алгоритма коррекции скоростей химических реакций [2]. Методы более высокой точности, такие как метод Гира [6], требуют существенно больших затрат времени, поэтому их применять нецелесообразно. Исходя из этих соображений для решения уравнений в частных производных в данной задаче использована схема Харлоу первого порядка точности. Другим способом умень-



**Рис. 2.** Динамика развития лесного пожара при распространении его через водный барьер по холму при  $w_b = 1,24$ : а —  $t = 6,8$  с; б —  $t = 7,6$  с; в —  $t = 8,4$  с; г —  $t = 9,2$  с

шить время вычислений является оптимизация размещения данных в памяти [7]. Ключевая идея оптимизации заключается в том, чтобы для вычислений использовались данные, находящиеся максимально близко, т. е. в пределах кэша. В отличие от работы [8], в которой исследовалось распространение пожара по однородной плоскости, в [9] рассматривался рельеф местности в виде трапециевидного холма и оврага.

На рис. 1–6 представлена динамика развития лесного пожара в различные моменты времени. Тонкая сплошная, штриховая и толстая сплошная линии соответствуют температурам 1500, 1000 и 500 К. Стрелки показывают поле скоростей. Водный барьер

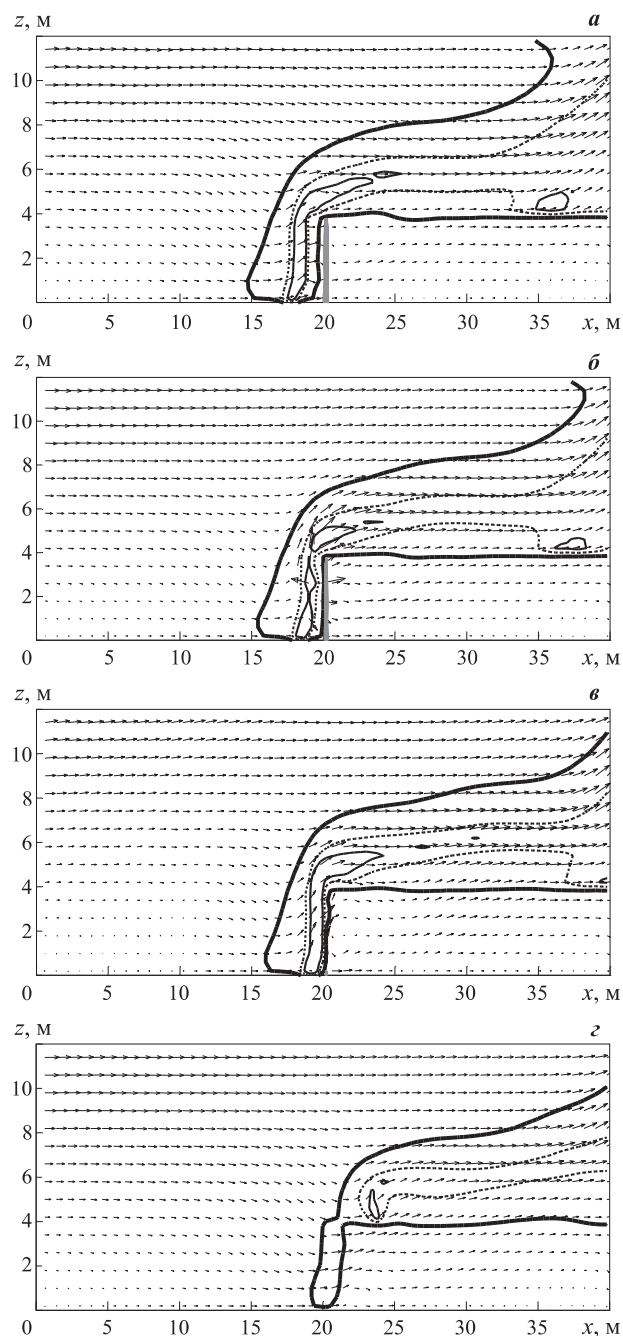


**Рис. 3.** Динамика развития лесного пожара при распространении его через водный барьер по равнине при  $w_b = 0,78$ : а —  $t = 7,6$  с; б —  $t = 8$  с; в —  $t = 8,4$  с; г —  $t = 9,2$  с

отображен в виде серой области, толщина которой соответствует распределению оставшейся в барьере доли воды по высоте.

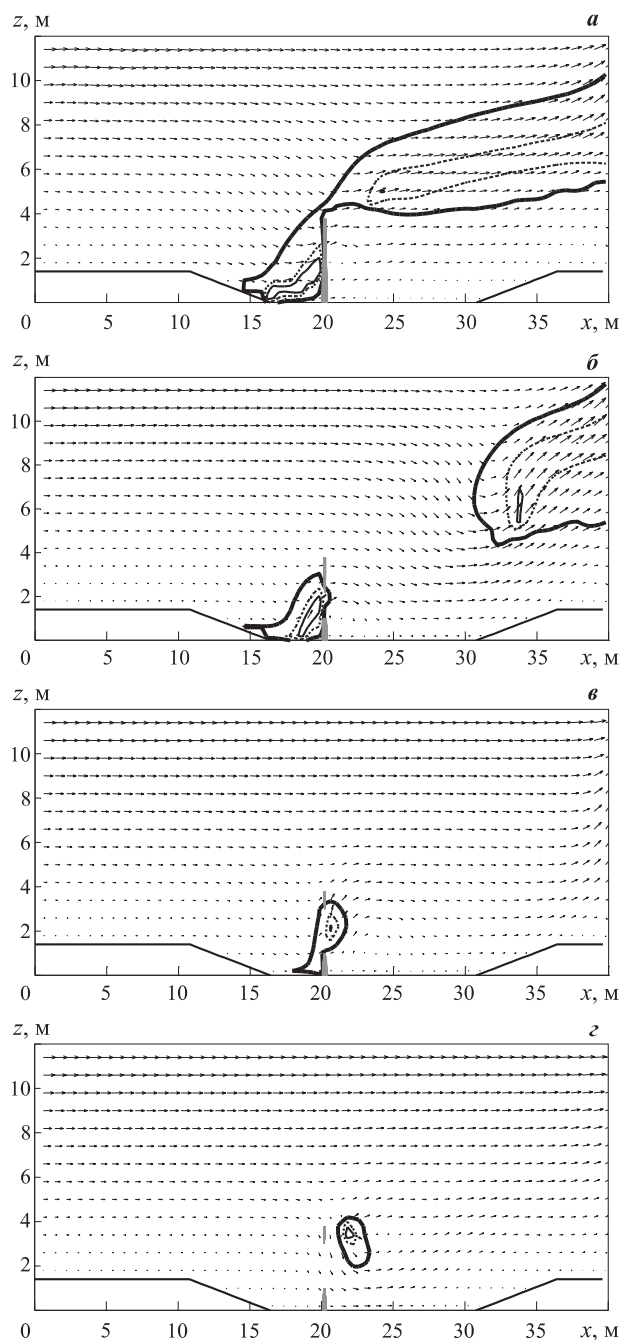
На рис. 1–2 представлена динамика развития лесного пожара при распространении его через трапециевидный холм. Отношение массы воды в барьере к массе сухого органического вещества  $w_b$  составляет соответственно 1,23 и 1,24.

Как можно видеть на рис. 1 и 2, отличия в динамике развития пожара на момент времени 6,8 с от начала пожара незначительны. В связи с тем что



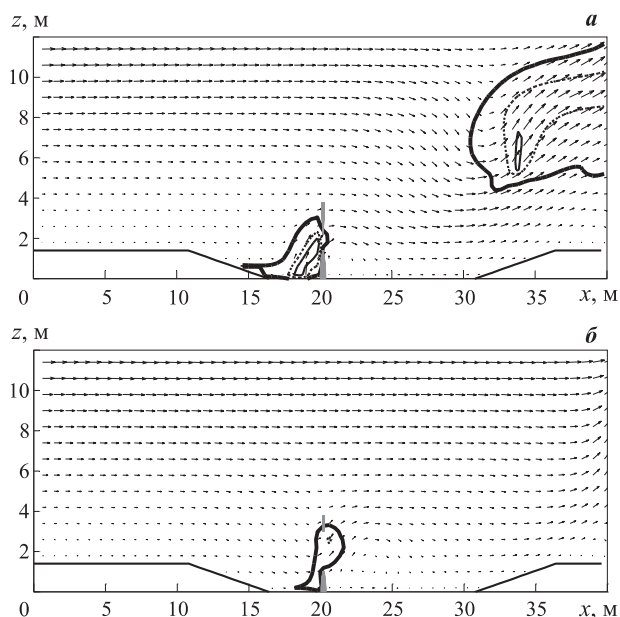
**Рис. 4.** Динамика развития лесного пожара при распространении его через водный барьер по равнине при  $w_b = 0,79$ : а —  $t = 7,6$  с; б —  $t = 8$  с; в —  $t = 8,4$  с; г —  $t = 9,2$  с

пламя наклонено вперед, испарение воды в барьере происходит преимущественно в его верхней части. Можно отметить более высокую скорость распространения горения по сравнению с пожаром на горизонтальной поверхности. Дальнейшее распространение характеризуется резким снижением температуры в верхней части полога леса за счет расхода энергии на испарение воды в барьере. Из рис. 2, б видно, что на момент времени 7,6 с изолиния, соответствующая 1500 К, осталась в нижней части слоя леса и над пологом. На рис. 1, б показано, что



**Рис. 5.** Динамика развития лесного пожара при распространении его через водный барьер по оврагу при  $w_b = 3,48$ : а —  $t = 10$  с; б —  $t = 12$  с; в —  $t = 14$  с; г —  $t = 18$  с

на момент времени 8 с высокая температура (более 1000 К) имеет место только в приземном слое и над пологом леса, при этом поле скоростей выравнивается. Незначительные различия в количестве воды в барьере оказывают существенное влияние на динамику пожара после испарения барьера: так, на рис. 1,в и 1,г видно, что на моменты 9,2 и 11,2 с вновь формируется фронт пожара, тогда как на рис. 2,г наблюдается отрыв горячих газовых масс и постепенное затухание пожара. Следует отметить, что водный барьер в обоих случаях полностью испаряется.



**Рис. 6.** Динамика развития лесного пожара при распространении его через водный барьер по оврагу при  $w_b = 3,49$ : а —  $t = 12$  с; б —  $t = 14$  с

На рис. 3 и 4 представлена динамика развития пожара при распространении его через равнину. Отношение массы воды в барьере к массе сухого органического вещества  $w_b$  составляет соответственно 0,78 и 0,79.

На рис. 5 и 6 показана динамика развития пожара при распространении его через овраг. Отношение массы воды в барьере к массе сухого органического вещества  $w_b$  составляет соответственно 3,48 и 3,49.

Еще до столкновения ядра, т. е. части пожара с наибольшей температурой, с водным барьером вода в нем начинает испаряться. Несмотря на незначительные различия количества воды в барьере, полученные в расчетах, на рис. 3 и 4 можно видеть некоторые отличия в полях скоростей перед барьером. Можно также отметить, что на моменты 7,6 и 8 с при меньшем количестве воды в барьере скорости направлены вверх в большей степени. Вследствие этого в момент 8,4 с более полное испарение водного барьера наблюдается в том случае, если воды в нем было меньше.

Из рис. 4,в и 4,г видно, что за промежуток времени от 8,4 до 9,2 с происходит активное охлаждение фронта пожара, даже несмотря на практически полное испарение водного барьера. Этот эффект обуславливается прежде всего тем, что барьер препятствует распространению тепла и, как следствие, пиролизу и сушке лесных горючих материалов, поэтому энергия пожара расходуется в первую очередь на сушку. Этот эффект усугублялся большей объемной теплоемкостью леса, нетронутого огнем, по сравнению с теплоемкостью разложившихся и

частично сгоревших материалов, находившихся перед барьером.

На рис. 6 не показана динамика развития лесного пожара в интервале времени до 10 с, ввиду того что влияние массы воды в барьере не оказывает заметного влияния на температуру и поле скоростей. Для распространения пожара по склону и дну оврага характерен сильный наклон факела пламени. В результате этого после срезания верхней части факела пламени (через 10 с от начала пожара) энергия пожара концентрируется на барьере, вместо того чтобы обходить его, рассеиваясь в окружающую среду. Из-за увеличения скорости газовой фазы с ростом высоты пожар пробивает барьер в середине; при этом в нижней и верхней частях барьера еще остается запас воды, который частично сдерживает пожар, продолжая испаряться. На 14-й секунде ядро пожара преодолевает барьер. В зависимости от массы воды в барьере пожар либо затухает, либо разгорается. Низкая скорость ветра в области ядра пожара препятствует интенсивному оттоку энергии, что дает возможность пожару разгореться. Следует отметить, что разработанный алгоритм, основанный

на методе дихотомии [5], определяет критическое соотношение воды и сухого органического вещества в барьере, но не отвечает на вопрос о возможности удерживания лесными материалами такого количества воды.

В данной статье продемонстрирован подход к моделированию тушения пожара с помощью свободной воды на основе физической модели, учитывающей гидродинамику пожара. Поле скоростей определяет угол наклона факела пламени, который, в свою очередь, влияет на эффективность водного барьера (с увеличением наклона факела пламени количество воды, требуемое для тушения пожара, растет). В данной работе не рассматривается вопрос о возможности удерживания лесными материалами достаточного для тушения пожара количества воды.

\*\*\*

*Работа выполнена при финансовой поддержке 13-03-91164-ГФЕН а “Экспериментальное исследование кинетики и механизма термического разложения лесных горючих материалов и процессов распространения пламени по их слою”.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катаева Л. Ю. Анализ динамических процессов аварийных ситуаций природного и техногенного характера : дис. ... д-ра. физ.-мат. наук. — Нижний Новгород, 2009. — 328 с.
2. Масленников Д. А. Особенности математического моделирования распространения лучистого теплового потока от очага горения при лесных пожарах на неоднородном рельефе : дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Нижний Новгород, 2012. — 109 с.
3. Катаева Л. Ю., Масленников Д. А., Белоцерковская И. Е. Численное моделирование динамики пожара с учетом рельефа местности и внешнего поля скоростей // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 49–58.
4. Катаева Л. Ю., Белоцерковская И. Е. Численное и аналитическое решение математической модели низового пожара с учетом угла наклона подстилающей поверхности // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. — Нижний Новгород, 2010. — Т. 81, № 2. — С. 44–48.
5. Белоцерковская И. Е., Масленников Д. А., Катаева Л. Ю., Лоцилов С. А. Влияние водного барьера на динамику ландшафтных лесных пожаров // Естественные и технические науки. — 2013. — № 3. — С. 26–31.
6. Катаева Л. Ю., Карпунин В. Б. О методе Гира численного моделирования динамических систем, описываемых жесткими обыкновенными дифференциальными уравнениями // Наука и техника транспорта. — 2008. — № 1. — С. 57–66.
7. Романов А. В., Катаева Л. Ю. Метод Патанкара и возможности его оптимизации // Наука и техника транспорта. — 2008. — № 3. — С. 88–97.
8. Катаева Л. Ю., Белоцерковская И. Е., Масленников Д. А., Куркин А. А. Сравнение аналитического и численного решения математической модели низового пожара с учетом влияния угла наклона подстилающей поверхности // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 11. — С. 24–30.
9. Масленников Д. А., Катаева Л. Ю., Галина Н. В. Влияние холмов на динамику лесного пожара // Успехи современного естествознания. — 2012. — № 6. — С. 189. URL : [www.rae.ru/use/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=9999790](http://www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=9999790) (дата обращения: 11.11.2013 г.).

*Материал поступил в редакцию 3 сентября 2013 г.*

## INFLUENCE OF WATER BARRIER ON DYNAMICS OF THE FOREST FIRE DEPENDING ON TERRAIN

**KATAEVA L. Yu.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev (Minina St., 24, Nizhny Novgorod, 603950, GSP-41, Russian Federation; e-mail address: kataeval2010@mail.ru)

**POSTNOV A. D.**, Graduate Student of Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev (Minina St., 24, Nizhny Novgorod, 603950, GSP-41, Russian Federation)

**LOSHCHILOV S. A.**, General Director of "Telemetriya" Ltd. (Dzerzhinskogo Avenue, 5, apt. 37, Gorodetsky District, Nizhny Novgorod Region, Zavolzhye, 606523, Russian Federation)

**MASLENNIKOV D. A.**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev (Minina St., 24, Nizhny Novgorod, 603950, GSP-41, Russian Federation; e-mail address: dmitrymaslennikov@rambler.ru)

### ABSTRACT

This work deals with modeling fire extinguishing based on physical model. The water barrier can be formed by wetting forest materials. Unlike the moisture present in the wood there is free water here. Its boiling point is considered a constant in this study.

During the practical calculation it is assumed that in each cell having a temperature above 373 K and a nonzero fraction of free water, boiling takes place. Its rate is determined by minimum between the amount of free water that exists in the cell and the amount of energy which is sufficient to boil water.

To determine the critical value of the fraction of the water needed to prevent further spread of the fire, we used the method of dichotomy. It was assumed that there exists a critical value  $w_{b\ cr}$ , such that the fire overcomes the barrier for any value  $w_b < w_{b\ cr}$  and extinguishes at  $w_b > w_{b\ cr}$ .  $w_{b\ cr} = 0$  means that fire can't propagate under present conditions even in the absence of the barrier. To check whether the fire was successfully extinguished by the barrier uses two key criteria: the maximum temperature inside the canopy and the mass fraction of dry organic substance near the right boundary of the computational domain.

Executed calculations have shown that the required fraction of water in the barrier is minimal at suppression a fire on the plain ( $w_{b\ cr} = 0.785$ ). When extinguishing a fire on the plateau of the hill — it takes much more water due to greater intensity of the fire ( $w_{b\ cr} = 1.235$ ). Fire extinguishing at the bottom of the ravine requires even much more water ( $w_{b\ cr} = 3.485$ ) due to the formation of vortices and the large tilt angle of the flame.

**Keywords:** water barrier; wildfire; fire control; numerical simulation.

### REFERENCES

1. Kataeva L. Yu. *Analiz dinamicheskikh protsessov avariynnykh situatsiy prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk* [Analysis of the dynamic processes of emergency situations of natural and technogenic character. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Nizhny Novgorod, 2009. 328 p.
2. Maslennikov D. A. *Osobennosti matematicheskogo modelirovaniya rasprostraneniya luchistogo teplovogo potoka ot ochaga goreniya pri lesnykh pozharakh na neodnorodnom relyefe. Dis. kand. fiz.-mat. nauk* [Features of mathematical modeling of the radiant heat flux from the source of burning in forest fires on non-uniform relief. Cand. phys. and math. sci. diss.]. Nizhny Novgorod, 2012. 109 p.
3. Kataeva L. Yu., Maslennikov D. A., Belotserkovskaya I. E. Chislennoye modelirovaniye dinamiki pozhara s uchetom relyefa mestnosti i vneshnego polya skorostey [Numerical modeling of fire dynamics taking into account the land relief and the external field of speeds]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 49–58.

4. Kataeva L. Yu., Belotserkovskaya I. E. Chislennoye i analiticheskoye resheniye matematicheskoy modeli nizovogo pozhara s uchetom ugla naklona podstilayushchey poverkhnosti [Numerical and analytical solution of the mathematical model of a surface fire considering slope of the underlying surface]. *Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R. Ye. Alekseeva* [Proc. of Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev]. Nizhny Novgorod, 2010, vol. 81, no. 2, pp. 44–48.
5. Belotserkovskaya I. E., Maslennikov D. A., Kataeva L. Yu., Loshchilov S. A. Vliyaniye vodnogo baryera na dinamiku landshaftnykh lesnykh pozharov [The influence of the water barrier on the dynamics of landscape forest fires]. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki — Natural and Technical Sciences*, 2013, no. 3, pp. 26–31.
6. Kataeva L. Yu., Karpukhin V. B. O metode Gira chislenno modelirovaniya dinamicheskikh sistem, opisyvayemykh zhestkimi obyknovennymi differentsialnymi uravneniyami [The method Gere of numerical simulation of dynamic systems described by stiff ordinary differential equations]. *Nauka i tekhnika transporta — Science and Technology of Transport*, 2008, no. 1, pp. 57–66.
7. Romanov A. V., Kataeva L. Yu. Metod Patankara i vozmozhnosti yego optimizatsii [Patankar method and possibilities of its optimizing]. *Nauka i tekhnika transporta — Science and Technology of Transport*, 2008, no. 3, pp. 88–97.
8. Kataeva L. Yu., Belotserkovskaya I. E., Maslennikov D. A., Kurkin A. A. Sravneniye analiticheskogo i chislenno resheniya matematicheskoy modeli nizovogo pozhara s uchetom vliyaniya ugla naklona podstilayushchey poverkhnosti [The numerical and analytical decision mathematical model for ground fire including slope angle influence]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 11, pp. 24–30.
9. Maslennikov D. A., Kataeva L. Yu., Galina N. V. Vliyaniye kholmov na dinamiku lesnogo pozhara [The influence of the hills on the dynamics of forest fire]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya — Advances in Current Natural Sciences*, 2012, no. 6, p. 189. Available at: [www.rae.ru/use/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=9999790](http://www.rae.ru/use/?section=content&op=show_article&article_id=9999790) (Accessed 11 November 2013).



# Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

**А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов.**  
**ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**  
**БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие**

/ Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова. —  
 М. : ООО “Издательство “Пожнаука”, 2010. — 210 с.



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

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

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

**Ю. Х. ПОЛАНДОВ**, д-р техн. наук, профессор кафедры высшей математики ФГБОУ ВПО "Государственный университет — учебно-научно-производственный комплекс" (Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29; e-mail: polandov@yandex.ru)

**В. А. БАБАНКОВ**, аспирант кафедры высшей математики ФГБОУ ВПО "Государственный университет — учебно-научно-производственный комплекс" (Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29)

УДК 536.463

## МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕПУСКНОГО ВЗРЫВНОГО КЛАПАНА НА РАЗВИТИЕ ВЗРЫВА В ГАЗОВОЙ МНОГОХОДОВОЙ ТОПКЕ

Ранее было выяснено, что взрывобезопасность газовой трехходовой топки можно обеспечить, используя перепускной взрывной клапан, соединяющий при взрыве объем жаровой трубы со входом в дымовую. Как выявили дальнейшие исследования, из факторов, под действием которых возможны изменения физического процесса взрыва при установке клапана, доминирующим является изменение гидросопротивления при движении газов от горелки до дымовой трубы.

**Ключевые слова:** многоходовая топка; взрыв газа; перепускной взрывной клапан; численный эксперимент; механизм влияния клапана; давление взрыва.

### 1. Объект исследования

Проведенные ранее исследования [1] показали, что взрывобезопасность газовой многоходовой топки парового котла КП-0,12 (рис. 1) производства ОАО "Возовсельмаш" (п. Вozy Курской обл.,  $N = 150$  кВт) может быть обеспечена устройством перепускного взрывного клапана (ПВК) с проходным сечением  $140 \times 100$  мм. Схема установки ПВК показана на рис. 2. В топке с ПВК при взрыве газа давление снижалось более чем вдвое по сравнению с топкой без клапана. ПВК, срабатывая во время взрыва, соединяет объем первого хода (жаровую трубу диаметром 600 мм и длиной  $L = 1500$  мм) и вход в дымовую трубу (диаметром 190 мм), поэтому часть газозооной смеси и (или) продуктов сгорания двигается прямо к

дымовой трубе, минуя второй и третий ходы (дымогарные трубы). Такие клапаны предельно просты, не требуют теплоизоляции и особого уплотнения по месту прилегания. Кроме того, они исключают попадание горячих газов в рабочее помещение путем сбрасывания продуктов сгорания в дымовую трубу.

Выяснение механизма влияния ПВК на процесс взрыва даст возможность повысить эффективность применения таких клапанов в качестве защитного устройства на многоходовых топках. Ранее при разработке ПВК решение данной задачи казалось ясным, однако в процессе исследований были получены некоторые результаты, которые дали повод усомниться в простоте ее решения.



Рис. 1. Внешний вид парового котла КП-0,12

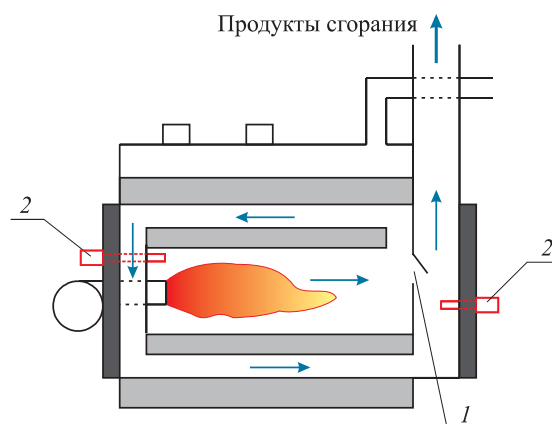


Рис. 2. Схема парового котла КП-0,12 с перепускным клапаном: 1 — перепускной клапан; 2 — датчик давления

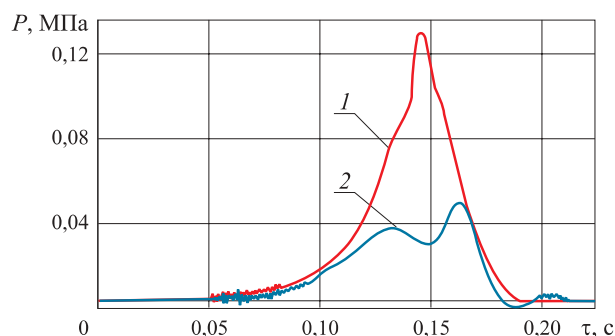


Рис. 3. Динамика давления взрыва в топке котла: 1 — без клапана; 2 — с клапаном

## 2. Экспериментальные результаты

Доказательная база эффективности использования перепускного взрывного клапана была получена при прямых испытаниях на натурном котле (рис. 3) [2].

В работе были использованы также результаты физического эксперимента, проведенного на модельной установке “Сержант” [3].

Основная же часть результатов получена при численном моделировании с использованием математической трехмерной модели взрыва газовоздушных смесей, подробно описанной в работе [4]. Модель основана на системе уравнений сохранения в дивергентном виде для идеального газа (уравнения Эйлера), замкнутых уравнением газового состояния. Система дополнена уравнениями, описывающими механизм распространения пламени, и решается методом крупных частиц размером  $10 \times 10 \times 10$  мм (в количестве 75000) с шагом по времени  $0,6 \cdot 10^{-7}$  с, удовлетворяя, таким образом, критерию Куранта–Фридрихса–Леви с большим запасом. Картина распространения пламени, изменения параметров процесса взрыва визуализированы с помощью специального программного продукта “Вулкан-М” [5].

Геометрия границ численной модели с не принципиальными отличиями повторяет форму топки котла КП-0,12 (см. рис. 1 и 2), а начальные условия соответствуют заполнению всего объема топки стехиометрической газовой смесью, что предполагает наиболее неблагоприятный случай взрыва. Перепускной клапан моделируется в открытом положении, поскольку для его открытия необходимо всего порядка 100 Па.

## 3. Рабочая гипотеза

Отметим, что развитие взрыва в незамкнутых объемах можно рассматривать как функцию, зависящую от многих факторов, среди которых наиболее важными являются следующие: свойства газовоздушной смеси и продуктов ее сгорания, скорость нормального горения, объем топки и форма ее границ, место зажигания газовоздушной смеси, эффектив-

ная площадь проходного сечения дымовой трубы, гидросопротивление при движении газов по топке, площадь фронта горения, температура газов в дымовой трубе и др.

Используя метод сравнения, можно значительно уменьшить число факторов, необходимых для исследования поставленного вопроса, так как часть этих факторов одинакова для обоих вариантов топки и не влияет на разницу в развитии физического процесса взрыва. Однако другая часть факторов, таких как гидросопротивление, площадь фронта горения и температура газов в дымовой трубе, по нашему мнению, изменяется при установке ПВК и оказывает влияние на разницу в развитии процесса взрыва. Это можно аргументировать следующими доводами.

Во-первых, при установке ПВК изменяется геометрия проточной части топки, что, естественно, изменяет гидросопротивление при движении газов во время взрыва.

Во-вторых, распараллеливание газовых потоков, т. е. появление второго фронта пламени, меняет профиль скоростей в топке, а значит, и форму фронта пламени. Однако неясно, насколько сильно этот фактор оказывает влияние на процесс взрыва.

В-третьих, появление второго, более короткого, пути движения газов приведет к более раннему появлению пламени в дымовой трубе, что должно изменить температуру истекающих в атмосферу газов и появлению “сержантского” эффекта. Своим названием данный эффект обязан тому, что был получен на экспериментальной установке “Сержант”. На рис. 4 приведены результаты эксперимента по исследованию влияния места установки взрывного клапана, проведенного на этой установке. Они показывают, что, приближая место установки взрывного клапана к устройству зажигания, можно уменьшить давление взрыва на порядок. “Сержантский” эффект формулируется просто: чем раньше пламя появляется во взрывном клапане, тем ниже давление взрыва. В ходе исследования предстоит выяснить, насколько сильное влияние оказывает этот эффект на процесс взрыва.

Степень участия каждого из факторов в снижении давления можно выяснить только путем проведения опытов, физических и (или) вычислительных.

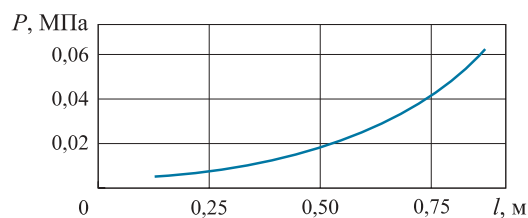


Рис. 4. Зависимость давления взрыва от расстояния от источника воспламенения до взрывного клапана  $l = L/L_0$

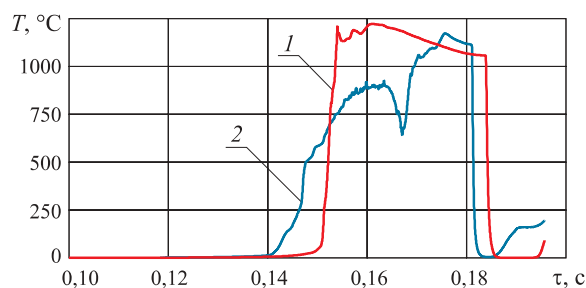


Рис. 5. Ход температуры газов  $T$  на выходе дымовой трубы: 1 — без ПВК; 2 — с ПВК

#### 4. Результаты вычислительных опытов

##### 4.1. Опыт по оценке влияния температуры газов в дымовой трубе

О том, что установка ПВК в топке приводит к ускорению попадания пламени в дымовую трубу, известно из публикации [1]. Это следует из результатов визуального наблюдения за движением фронта пламени в топках. На рис. 5 приведен график, полученный при вычислительном эксперименте и дающий более точное представление о разнице времен достижения пламенем дымовой трубы в топке с клапаном и без него. На этом графике записан ход температуры газов на выходе дымовой трубы. Резкий скачок температуры означает подход фронта пламени к дымовой трубе, где установлен “датчик”. Из рис. 5 видно, что для случая с ПВК фронт пламени приходит на 0,05 с быстрее, однако вскоре температура газов в дымовой трубе в топке без клапана становится больше, чем в топке с клапаном. Таким образом, это осложняет суждение о том, много это или мало для заметного влияния “сержантского” эффекта на ход процесса.

Однако точно можно сказать, что для топки с ПВК, когда пламя подходит к выходу из дымовой трубы раньше, наблюдается снижение давления взрыва, хотя и неясно, насколько.

##### 4.2. Опыт по оценке влияния площади фронта пламени

По итогам вычислительного опыта отмечено, что открытие “второго фронта” (рис. 6) сначала дейст-

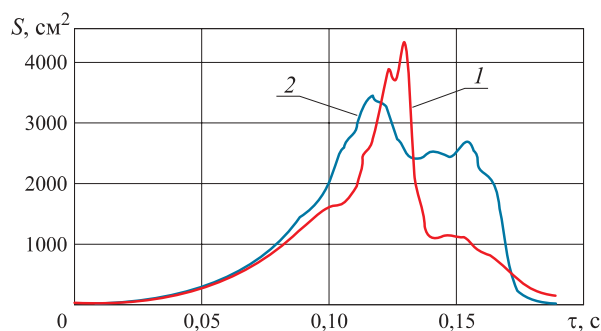


Рис. 6. Динамика изменения площади фронта горения  $S$  в топке во время взрыва: 1 — без ПВК; 2 — с ПВК

вительно приводит к некоторому увеличению площади фронта пламени в топке с ПВК, но затем наблюдается попеременное превалирование одной площади над другой.

Установлено, что увеличение площади фронта пламени в начальной стадии развития взрыва способствует повышению давления в топке с ПВК, однако выявить степень влияния площади пламени на давление взрыва не удалось.

##### 4.3. Опыт по оценке влияния гидросопротивления

Для решения этого вопроса была проведена “продувка” топки и оценка гидравлического сопротивления для обоих вариантов (с ПВК и без него). В опыте в топку подавали воздух через горелку, осуществляя таким образом “продувку” топки. Скорость подачи воздуха была близкой к значению, определяемому производительностью горелки, и составляла 10 м/с, что позволило реализовать режим несжимаемости среды. На рис. 7 приводится динамика изменения давления в топке. На графике можно выделить переходный и близкий к стационарному режимы. Наличие переходного режима объясняется тем, что в начальный момент воздух подается в топку скачкообразно, ступенькой конечного размера. На рис. 8 визуализирована картина течения потока. На начальных кадрах видны вихри, увеличивающие гидросопротивление и соответствующие начальному

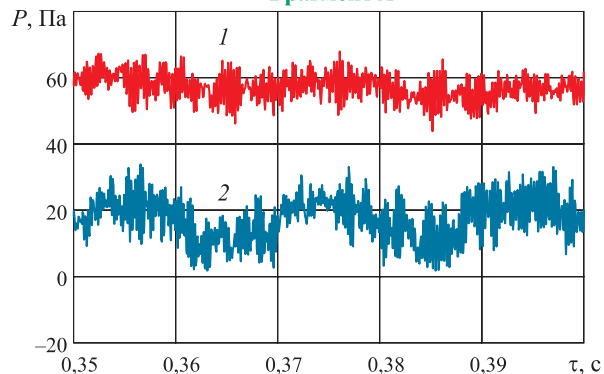
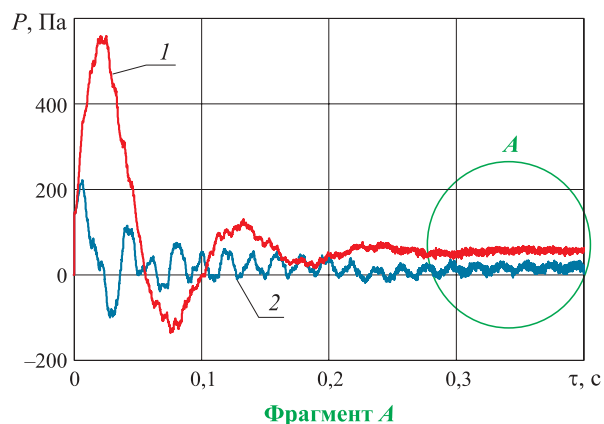


Рис. 7. Динамика изменения избыточного давления при продувке топки: 1 — без ПВК; 2 — с ПВК

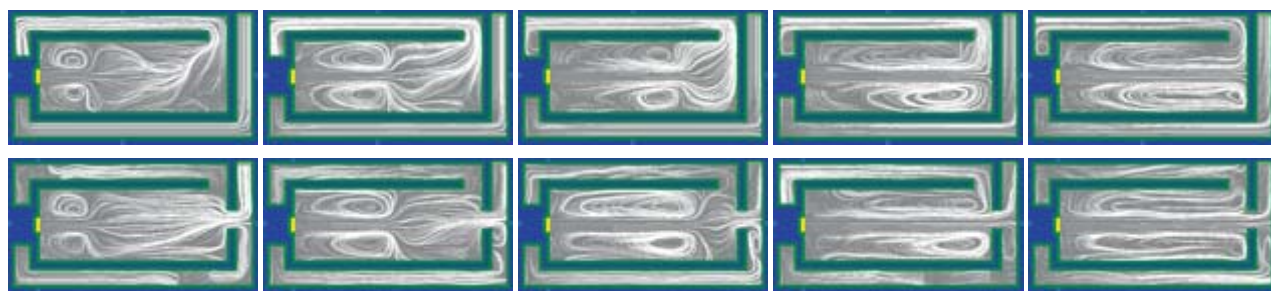


Рис. 8. Визуализация течения потока в топке при продувке без клапана (верхний ряд) и с клапаном (нижний ряд)

этапу динамики давления на рис. 7. В дальнейшем наблюдается затухание вихрей и переход течения в стационарный режим, соответствующий фрагменту *A* на рис. 7.

#### Методика обработки данных

Если обозначить через  $\xi$  коэффициент гидросопротивления на пути из топки в атмосферу и относительно скорости в дымовой трубе, то для топки без ПВК можно записать выражение

$$p_1 - p_a = 0,5\xi_1\rho v^2, \quad (1)$$

где  $p_1, p_a$  — давление соответственно в топке без ПВК и атмосферное, Па;

$\xi_1$  — коэффициент гидросопротивления в топке без клапана;

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

$v$  — скорость воздуха в дымовой трубе, м/с.

Аналогичное выражение можно записать и для топки с ПВК:

$$p_2 - p_a = 0,5\xi_2\rho v^2. \quad (2)$$

В силу того, что в обоих случаях в топку поступает одно и то же количество воздуха, и при условии, что температуры в топках одинаковы,  $\rho = \text{idem}$  и  $\rho v^2 = \text{idem}$ . Поэтому:

$$\xi_1/\xi_2 = p_{н1}/p_{н2}, \quad (3)$$

где  $p_{н1}, p_{н2}$  — избыточные (измеряемые) давления в топке без ПВК и с ПВК соответственно, Па.

Если согласиться с тем, что коэффициенты гидросопротивления, полученные на стационарном режиме, остаются неизменными и в случае переходного процесса, то должно соблюдаться условие:

$$p_{в1}^{\max} / p_{в2}^{\max} = \xi_1 / \xi_2.$$

Отсюда следует, что

$$p_{в1}^{\max} / p_{в2}^{\max} = p_{н1} / p_{н2}. \quad (4)$$

Понятно, что это равенство справедливо, когда из дымовой трубы в обоих случаях истекают газы с близкими температурами.

#### Обработка данных опыта

Наблюдаемые на рис. 3 максимальные значения давления для обоих вариантов топки располагают-

ся в интервале значений времени, при котором через дымовую трубу текут продукты сгорания, имеющие близкие температуры. Поэтому правомочно допущение  $\rho v^2 = \text{idem}$ ,  $p_{в1}^{\max} = 0,129$  МПа и  $p_{в2}^{\max} = 0,044$  МПа. Отсюда

$$p_{в1}^{\max} / p_{в2}^{\max} = 0,129 / 0,044 = 2,93.$$

С другой стороны, при продувках в квазистационарном режиме (фрагмент *A* на рис. 7) получено, что  $p_{н1} = 57$  Па и  $p_{н2} = 19$  Па, откуда

$$p_{н1} / p_{н2} = 57 / 19 = 3.$$

Однако при продувках в отсутствие горения давление и соотношение давлений, соответственно, есть продукт только гидросопротивлений. Влияние первых двух факторов (площади фронта горения и “сержантского” эффекта) разнонаправленно и, возможно, взаимно компенсируется. Близость отношения давлений и при взрыве, и без него говорит в пользу гидросопротивлений, т. е. свидетельствует о том, что именно этот фактор, и никакой другой, определяет давление в топке при взрыве.

Не исключено, что этот вывод справедлив для конструкций, близких к рассмотренной, так как влияние площади фронта пламени и “сержантского” эффекта на ход взрыва газа в незамкнутых объемах доказано. Хотя это имело место и в других случаях.

#### Выводы

Факторы, влияющие предположительно на давление взрыва в многоходовой топке, такие как размер площади фронта горения и “сержантский” эффект, разнонаправлены и, возможно, компенсируют друг друга. Давление взрыва в многоходовой газовой топке (с перепускным взрывным клапаном и без него) определяется гидросопротивлением при движении газов от горелки к дымовой трубе.

\*\*\*

Работа выполнена по гранту № 12-08-97569, выигранному в региональном конкурсе Российского фонда фундаментальных исследований, проведенном на средства, выделенные администрацией Орловской области.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поландов Ю. Х., Барг М. А., Бабанков В. А. Об одном варианте снижения давления взрыва в многоходовых газовых топках // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 11. — С. 41–46.
2. Поландов Ю. Х. и др. О результатах экспериментального исследования взрывов газозвдушной смеси в топке парового котла КП-0,12 // Безопасность жизнедеятельности — 2009. — № 2. — С. 40–41.
3. Поландов Ю. Х., Барг М. А., Власенко С. А. Экспериментальное исследование влияния места установки взрывного клапана на давление взрыва в газовых топках // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 68–70.
4. Поландов Ю. Х., Барг М. А., Власенко С. А. Моделирование процесса горения газозвдушной смеси методом крупных частиц // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 3. — С. 6–9.
5. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2007614950 Российская Федерация. Моделирование процессов горения и взрыва газовых смесей “Вулкан-М” / Ю. Х. Поландов, М. А. Барг, С. С. Марков; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО “Орловский государственный технический университет” (ОрелГТУ). — № 2007613936; заявл. 10.08.2007 г.

*Материал поступил в редакцию 26 сентября 2013 г.*

English

## MECHANISM OF THE INFLUENCE OF THE EXPLOSIVE BYPASS VALVE ON DEVELOPMENT OF EXPLOSION IN MULTI-PASS GAS FURNACE

**POLANDOV Yu. Kh.**, Dr. of Technical Sciences, Professor of Higher Mathematics Department of FSEI HPE “State University – Education-Science-Production Complex” (Nauorskoe shosse, 29, Orel, 302020, Russian Federation; e-mail: polandov@yandex.ru)

**BABANKOV V. A.**, Graduate Student of Higher Mathematics Department of FSEI HPE “State University – Education-Science-Production Complex” (Nauorskoe shosse, 29, Orel, 302020, Russian Federation; e-mail: polandov@yandex.ru)

### ABSTRACT

Previously it was found that safety in the gas explosion in the multi-pass gas furnace can be achieved by using a explosive bypass valve, which connects the combustion chamber and chimney at explosion moment. In the study of the mechanism of influence of the valve on the development of the explosion, it was assumed that the major factors that caused the change process are the size of the flame front, the approach of the ignition source to the flue gas and hydraulic resistance movement.

Objective of this study was to evaluate the degree of influence of each of these factors on the pressure drop. The answer was found during the numerical experiment with the software, which is based on the method of large particles. During the experiment purging the furnace was modeled in two versions: with or without a valve. It was found that in the case of the valve first factor contributes to the growth of the explosion pressure, and the second — reduce the pressure, but its impact has been negligible. Analysis of the pressures that were obtained by physical experiments and computer simulations, it is found that the dominant factor in the reduction of pressure is to reduce the hydraulic resistance when moving gas from the burner to the chimney.

**Keywords:** multi-pass furnace; gas explosion; explosive bypass valve; numerical experiments; mechanism of the influence of the valve; explosion pressure.

## REFERENCES

1. Polandov Yu. Kh., Barg M. A., Babankov V. A. Ob odnom variante snizheniya davleniya vzryva v mnogokhodovykh gazovykh topkakh [On one approach to explosion pressure decrease in multi-pass gas furnaces]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 11, pp. 41–46.
2. Polandov Yu. Kh. et al. O rezultatakh eksperimentalnogo issledovaniya vzryvov gazovozdushnoy smesi v topke parovogo kotla KP-0,12 [The results of an experimental study of explosions of gas-air mixture in the furnace of the boiler KP-0,12]. *Bezopasnost zhiznedeyatelnosti — Life Safety*, 2009, no. 2, pp. 40–41.
3. Polandov Yu. Kh., Barg M. A., Vlasenko S. A. Eksperimentalnoye issledovaniye vliyaniya mesta ustanovki vzryvnogo klapana na davleniye vzryva v gazovykh topkakh [Experimental study of the influence of the installation location of the explosive valve on the pressure in the gas blast furnaces]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 3, pp. 68–70.
4. Polandov Yu. Kh., Barg M. A., Vlasenko S. A. Modelirovaniye protsessa goreniiya gazovozdushnoy smesi metodom krupnykh chastits [Simulation of combustion gas-air mixture by large particles]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 3, pp. 6–9.
5. Polandov Yu. Kh., Barg M. A., Markov S. S. Modelirovaniye protsessov goreniiya i vzryva gazovykh smesey “Vulkan-M” [Modeling of processes of burning and explosion of the gas mixes “Vulcan-M”]. Certificate on official registration of the computer programs RF, no. 2007614950, 2007.

## ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

## ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Л. П. Пилюгин

**Прогнозирование последствий  
внутренних аварийных взрывов**

Настоящая книга посвящена проблеме прогнозирования последствий внутренних взрывов газо-, паро- и пылевоздушных горючих смесей (ГС), образующихся при аварийных ситуациях на взрывоопасных производствах. В книге материал излагается применительно к дефлаграционным взрывам, которые обычно имеют место при горении ГС на взрывоопасных производствах.

В качестве основных показателей при прогнозировании последствий аварийных взрывов ГС рассматриваются ожидаемый характер и объем разрушений строительных конструкций в здании (сооружении), в котором происходит аварийный взрыв.

Книга продолжает исследования автора в области проектирования зданий взрывоопасных производств и оценки надежности строительных конструкций (на основе метода преобразования рядов распределения случайных величин).

С использованием методов теории вероятностей разработаны методики: определения характеристик взрывной нагрузки как случайной величины; оценки вероятностей разрушения конструкций, характера и объема разрушений в здании при внутреннем аварийном взрыве. Приведенные методики сопровождаются примерами расчетов для зданий различных объемно-планировочных решений.

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



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



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



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



**АНТИТЕРРОР  
ОХРАНА ГРАНИЦЫ  
БЕЗОПАСНОСТЬ  
НА ТРАНСПОРТЕ**



**ЗАЩИТА СВЯЗИ  
И ИНФОРМАЦИИ  
БИОМЕТРИЯ  
СПЕЦТЕХНИКА**

**ПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА  
ПОЖАРОТУШЕНИЕ  
БЕЗОПАСНОСТЬ  
И ОХРАНА ТРУДА**

**11–14.02.2014**

**КРОКУС ЭКСПО / МОСКВА**

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

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



Организатор **Groteck**  
Business Media

РЕКЛАМА

**А. Г. ВИНОГРАДОВ**, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры процессов горения, Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля МЧС Украины (Украина, 18034, г. Черкассы-34, ул. Оноприенко, 8; e-mail: vin\_ag@mail.ru)

УДК 536.3:535.34:614.838.441

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС

Обобщены и систематизированы результаты ранее опубликованных работ, посвященных созданию математической модели экранирования с помощью водяной завесы теплового излучения от очага пожара. Представлены результаты анализа ряда характерных частных случаев, на основе которых получены расчетные формулы общего характера. Для упрощения расчетных формул найдены функции аппроксимации, применение которых позволяет избежать трудоемких операций численного интегрирования. Разработаны методики учета параметров функции распределения капель по размерам и параметров спектра излучения очага пожара. Полученный в итоге полный набор расчетных формул позволяет определить интегральный коэффициент пропускания водяной завесы или построить спектр ее пропускания для заданных исходных параметров.

**Ключевые слова:** водяная завеса; тепловое излучение; коэффициент пропускания; методика расчета.

### Введение

Массовое применение в последние годы водяных завес в качестве одного из технических решений при создании систем противопожарной защиты [1] имеет соответствующее нормативное обоснование. Использование водяных завес как одного из компенсирующих мероприятий предусмотрено ст. 37 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” (Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ). Однако для обеспечения эффективного функционирования таких противопожарных систем необходимо, кроме нормативного обоснования, еще и наличие соответствующей методики их расчета.

В настоящее время расчет дренчерных завес при их проектировании производится согласно действующим на Украине и в России нормативным документам (например, [2–5]). При расчете систем, предназначенных для создания водяных завес, учитываются их геометрические размеры, общий и удельный расход воды, интенсивность орошения. Исходя из этого выбирается тип оросителей, определяется их количество, пространственное положение, параметры трубопровода и давление подачи воды. Однако в методиках расчета отсутствуют такие параметры, как коэффициент экранирования теплового излучения, диаметр капель и их концентрация, которые фактически определяют защитные свойства водяной завесы. В технических паспортах дренчерных оросителей, в перечне их технических характеристик эти параметры также отсутствуют.

В целом анализ существующей в настоящее время нормативной документации на системы для со-

здания водяных завес приводит к неутешительному выводу: особенности этих систем, их проектирования и использования отражены в этой документации чрезвычайно скупо. По сути, при проектировании и сдаче в эксплуатацию таких систем их заказчики и контролирующие органы вводятся в заблуждение: никто не может дать гарантию, что в случае возникновения пожара водяная завеса выполнит свою защитную функцию. Такую гарантию дать невозможно, поскольку отсутствуют апробированные и сертифицированные методики расчета экранирующих свойств водяных завес, а также их натурных испытаний. Научные исследования в направлении создания надежных методов расчета этих свойств в России и на Украине также не проводятся, судя по отсутствию соответствующих публикаций. К аналогичному выводу пришли и авторы недавно опубликованных обзоров на эту тему [6, 7].

Анализ наиболее часто цитируемых зарубежных публикаций [8–16] свидетельствует о достаточно высокой интенсивности исследований в данном направлении в мире в последние 20–25 лет. Однако проблема создания надежных расчетных методов и на их основе стандартных методик расчета экранирующих свойств водяных завес в настоящее время не решена.

Методика, рассмотренная в данной работе, предназначена для расчета коэффициента пропускания водяной завесы при экранировании лучистого теплового потока от очага пожара. Ее следует рассматривать как теоретическую основу будущей стандартной методики для расчета дренчерных установок,

предназначенных для создания защитных водяных завес противопожарного назначения при их проектировании. Это лишь один из первых шагов на пути создания такой методики, поскольку в настоящее время она не подтверждена экспериментальными измерениями и практическими испытаниями.

В основу методики положена математическая модель, опубликованная в работах [17–20]. Ее исходные предположения заключаются в следующем:

- капли воды, из которых состоит завеса, являются сферическими;
- взаимодействие теплового излучения и капель воды рассматривается в приближении геометрической оптики;
- водяная завеса имеет форму бесконечной плоской стенки определенной толщины с однородным распределением капель в ее объеме.

Исходя из названных предположений, можно определить ограничения на применение данной математической модели:

- 1) число Вебера для капель  $We < 1$ ;
- 2) средний диаметр капель многократно превышает среднюю длину волны теплового излучения пожара, т. е.  $D_{av} \gg 5$  мкм;
- 3) неоднородность завесы по ее толщине, а также по концентрации и размерам капель должна быть достаточно малой для учета ее через эффективные параметры.

Оценочные расчеты показывают, что для типичных водяных завес противопожарного назначения ограничения 1 и 2 фактически всегда выполняются. Более того, на основе данной модели можно показать, что при выходе за пределы, установленные данными условиями, водяная завеса становится неэффективной. При  $We > 1$  (крупные капли) тепловое экранирование практически отсутствует; при  $D_{av} < 10$  мкм (мельчайший водяной туман) невозможно сформировать пространственно устойчивую водяную завесу.

Работы [17–20] содержат математические формулы, необходимые для выполнения расчетов систем, предназначенных для создания водяных завес. Однако в этих работах сделан акцент на теоретическое обоснование математической модели без должного внимания к практическим аспектам ее применения.

В настоящей статье систематизированы полученные в работах [17–20] результаты и в итоге представлен полный набор расчетных формул для определения экранирующих свойств водяных завес.

Для эффективного применения данной методики необходим персональный компьютер с пакетом программ компьютерной математики (например, MathCAD).

Таким образом, перед автором стояла задача — обобщить и систематизировать основные результаты, полученные при разработке математической модели экранирования лучистого теплового потока от очага пожара с помощью водяной завесы [17–20], а также представить расчетные формулы и обосновать методику расчетов коэффициента пропускания водяной завесы для типичных условий применения водяных завес противопожарного назначения.

## 1. Основные определения

Схема процесса теплового экранирования представлена на рис. 1. Первичное излучение от очага пожара с интенсивностью  $I_1$  падает на дренчерную водяную завесу толщиной  $l$ . Часть лучистого теплового потока  $W_{abs}$  поглощается каплями (вследствие чего их температура повышается), и по другую сторону завесы выходит ослабленное излучение интенсивностью  $I_2$ .

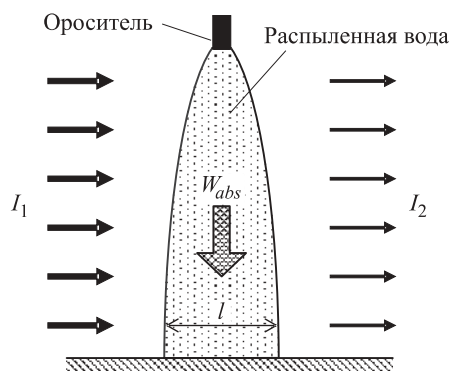


Рис. 1. Схема процесса теплового экранирования дренчерной водяной завесой

Интегральный коэффициент пропускания водяной завесы

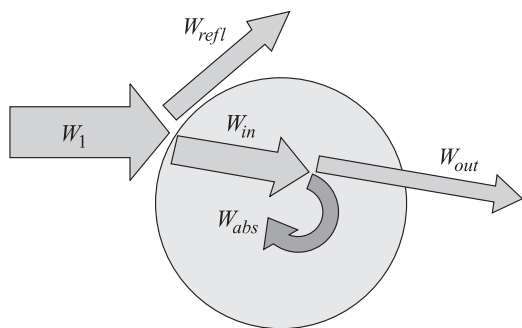
$$H = I_2/I_1. \quad (1)$$

Для расчета  $H$  необходимо рассмотреть процессы взаимодействия капель воды с тепловым излучением. Как показывают расчеты [21, 22], при показателе преломления воды  $n_m = 1,33$  внутрь сферической капли проходит 93,4 % падающего на нее потока  $W_1$ , образуя внутрикапельный энергетический поток  $W_{in}$  (рис. 2):

$$W_{in} = 0,934W_1.$$

Остальные 6,6 % (поток  $W_{refl}$ ) отражаются от поверхности капли с небольшим изменением направления (в основном под “скользящими” углами) и шириной индикатрисы рассеяния  $\pm 14^\circ$  по уровню 0,5.

Внутрикапельный поток  $W_{in}$  частично поглощается водой (на нагрев воды уходит поток  $W_{abs}$ ), и на-



**Рис. 2.** Схема взаимодействия теплового излучения с каплей воды

ружу из капли выходит его часть  $W_{out}$ . Коэффициент пропускания капли

$$\eta = W_{out} / W_{in}. \quad (2)$$

Для выполнения расчетов могут понадобиться также следующие параметры:

1. Счетная концентрация капель (количество капель в единице объема завесы):

$$n = N/V,$$

где  $N$  — количество капель в объеме  $V$ .

2. Объемная доля воды (суммарный объем капель в единице объема завесы):

$$w_{vv} = \frac{NV_d}{V} = n \frac{\pi D^3}{6}, \quad (3)$$

где  $V_d$  — объем капли;

$D$  — диаметр капли.

3. Массовая концентрация капель (суммарная масса капель в единице объема завесы):

$$w_{mv} = \frac{Nm_d}{V} = n \rho_w \frac{\pi D^3}{6}, \quad (4)$$

где  $m_d$  — масса капли;

$\rho_w$  — плотность воды.

4. Массовая доля воды (отношение суммарной массы капель к массе воздуха завесы):

$$w_{mm} = \frac{Nm_d}{\rho_a V} = n \frac{\rho_w}{\rho_a} \frac{\pi D^3}{6}, \quad (5)$$

где  $\rho_a$  — плотность воздуха.

## 2. Монодисперсная водяная завеса

Расчетная формула для коэффициента пропускания теплового излучения монодисперсной водяной завесы [17, 18] имеет вид:

$$H = \exp \left\{ -0,934 [1 - \eta(D, T)] n \frac{\pi D^2}{4} l \right\}, \quad (6)$$

где  $\eta(D, T)$  — коэффициент пропускания сферической капли воды (см. формулу (2)), зависящий

от ее диаметра  $D$  и эффективной температуры очага пожара  $T$ .

В некоторых случаях вместо счетной концентрации капель  $n$  удобнее использовать другие параметры. Из соотношений (3)–(5) найдем:

$$n = \frac{6\rho_a w_{mm}}{\rho_w \pi D^3} = \frac{6w_{mv}}{\rho_w \pi D^3} = \frac{6w_{vv}}{\pi D^3}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (6), получим еще три формулы для определения  $H$ :

$$H = \exp \left\{ -0,934 [1 - \eta(D, T)] \frac{3\rho_a w_{mm}}{2\rho_w D} l \right\}; \quad (8)$$

$$H = \exp \left\{ -0,934 [1 - \eta(D, T)] \frac{3w_{mv}}{2\rho_w D} l \right\}; \quad (9)$$

$$H = \exp \left\{ -0,934 [1 - \eta(D, T)] \frac{3w_{vv}}{2D} l \right\}. \quad (10)$$

В общем случае расчет коэффициента пропускания капли достаточно сложен и требует компьютерной обработки больших массивов данных. Рассмотрим наиболее важные частные случаи.

### 2.1. Полностью поглощающие капли

Геометрическим коэффициентом экранирования  $\Omega_g$  будем называть отношение суммарной площади сечения капель (с учетом их взаимного перекрытия)  $S_k$  к площади водяной завесы  $S$ :

$$\Omega_g = S_k / S. \quad (11)$$

По сути, этот коэффициент определяет относительную площадь “геометрической тени” всех капель после прохождения излучения через завесу.

С увеличением толщины завесы величина  $\Omega_g$  возрастает, асимптотически приближаясь к единице, но никогда не превышая ее, так как при этом повышается и вероятность взаимного перекрытия капель. Величина, дополняющая  $\Omega_g$  до единицы, показывает относительную долю “просветов” между каплями на площади всей завесы и называется геометрическим коэффициентом пропускания:

$$H_g = 1 - \Omega_g.$$

Физический коэффициент пропускания  $H$  стремится к этому значению при возрастании коэффициента поглощения воды. Если капли поглощают все проникающее в них излучение, то коэффициент пропускания капли  $\eta$  становится равным нулю. В этом случае сквозь завесу проходит только излучение, попавшее в “просветы” между каплями, в том числе и отраженное от поверхности капель.

Полагая в (6)  $\eta = 0$ , получим геометрический коэффициент пропускания:

$$H_g = \exp \left\{ -0,934n \frac{\pi D^2}{4} l \right\}. \quad (12)$$

Аналогично из (10) при  $\eta = 0$

$$H_g = \exp \left\{ -0,934 \frac{3w_{vv}}{2D} l \right\}. \quad (13)$$

## 2.2. Экранирование монохроматического излучения

Для монохроматического излучения с длиной волны  $\lambda$  спектральный коэффициент пропускания сферической капли воды [18]:

$$\eta_\lambda = e^{-0,84\alpha_\lambda D}, \quad (14)$$

где  $\alpha_\lambda$  — коэффициент поглощения воды при длине волны  $\lambda$ ,  $\text{м}^{-1}$ .

В этом случае из (6) получим спектральный коэффициент пропускания водяной завесы:

$$H_\lambda = \exp \left[ -0,934(1 - e^{-0,84\alpha_\lambda D}) n \frac{\pi D^2}{4} l \right]. \quad (15)$$

Аналогично из (10)

$$H_\lambda = \exp \left[ -0,934(1 - e^{-0,84\alpha_\lambda D}) \frac{3w_{vv}}{2D} l \right]. \quad (16)$$

Для расчетов по формулам (15) и (16) в компьютер необходимо ввести значения коэффициента поглощения воды  $\alpha_\lambda$  в табличном виде с дискретностью, достаточной для выполнения расчетов без существенной потери точности. Как правило, для этого используется таблица значений показателя поглощения воды  $k$  (мнимой части комплексного показателя преломления) из работы [23]. Пересчет  $k$  в коэффициент поглощения  $\alpha_\lambda$  проводится с помощью соотношения

$$\alpha_\lambda = 4\pi k / \lambda.$$

В таблице представлены результаты расчета  $\alpha_\lambda$  в интервале длин волн  $0,5 \text{ мкм} \leq \lambda \leq 10,0 \text{ мкм}$ , характерном для теплового излучения пожаров, кото-

Результаты расчета  $\alpha_\lambda$  для различных значений  $\lambda$

| $\lambda$ , мкм | $\alpha_\lambda$ , $\text{м}^{-1}$ | $\lambda$ , мкм | $\alpha_\lambda$ , $\text{м}^{-1}$ | $\lambda$ , мкм | $\alpha_\lambda$ , $\text{м}^{-1}$ | $\lambda$ , мкм | $\alpha_\lambda$ , $\text{м}^{-1}$ |
|-----------------|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| 0,5             | 0,025                              | 2,9             | $1,161 \cdot 10^6$                 | 5,3             | $2,371 \cdot 10^4$                 | 7,7             | $5,386 \cdot 10^4$                 |
| 0,6             | 0,23                               | 3,0             | $1,139 \cdot 10^6$                 | 5,4             | $2,327 \cdot 10^4$                 | 7,8             | $5,397 \cdot 10^4$                 |
| 0,7             | 0,61                               | 3,1             | $7,783 \cdot 10^5$                 | 5,5             | $2,742 \cdot 10^4$                 | 7,9             | $5,408 \cdot 10^4$                 |
| 0,8             | 2,042                              | 3,2             | $3,613 \cdot 10^5$                 | 5,6             | $3,142 \cdot 10^4$                 | 8,0             | $5,388 \cdot 10^4$                 |
| 0,9             | 6,842                              | 3,3             | $1,409 \cdot 10^5$                 | 5,7             | $4,409 \cdot 10^4$                 | 8,1             | $5,383 \cdot 10^4$                 |
| 1,0             | 36,442                             | 3,4             | $7,022 \cdot 10^4$                 | 5,8             | $7,15 \cdot 10^4$                  | 8,2             | $5,379 \cdot 10^4$                 |
| 1,1             | 57,12                              | 3,5             | $3,231 \cdot 10^4$                 | 5,9             | $1,321 \cdot 10^5$                 | 8,3             | $5,39 \cdot 10^4$                  |
| 1,2             | 103,673                            | 3,6             | $1,745 \cdot 10^4$                 | 6,0             | $2,304 \cdot 10^5$                 | 8,4             | $5,401 \cdot 10^4$                 |
| 1,3             | 483,322                            | 3,7             | $1,359 \cdot 10^4$                 | 6,1             | $2,678 \cdot 10^5$                 | 8,5             | $5,411 \cdot 10^4$                 |
| 1,4             | $1,257 \cdot 10^3$                 | 3,8             | $9,921 \cdot 10^3$                 | 6,2             | $1,824 \cdot 10^5$                 | 8,6             | $5,436 \cdot 10^4$                 |
| 1,5             | 837,758                            | 3,9             | $1,289 \cdot 10^4$                 | 6,3             | $1,197 \cdot 10^5$                 | 8,7             | $5,46 \cdot 10^4$                  |
| 1,6             | 675,442                            | 4,0             | $1,571 \cdot 10^4$                 | 6,4             | $8,836 \cdot 10^4$                 | 8,8             | $5,498 \cdot 10^4$                 |
| 1,7             | 739,198                            | 4,1             | $1,839 \cdot 10^4$                 | 6,5             | $7,733 \cdot 10^4$                 | 8,9             | $5,535 \cdot 10^4$                 |
| 1,8             | 837,758                            | 4,2             | $2,094 \cdot 10^4$                 | 6,6             | $6,854 \cdot 10^4$                 | 9,0             | $5,571 \cdot 10^4$                 |
| 1,9             | $3,307 \cdot 10^3$                 | 4,3             | $2,338 \cdot 10^4$                 | 6,7             | $6,377 \cdot 10^4$                 | 9,1             | $5,62 \cdot 10^4$                  |
| 2,0             | $6,912 \cdot 10^3$                 | 4,4             | $2,856 \cdot 10^4$                 | 6,8             | $6,098 \cdot 10^4$                 | 9,2             | $5,669 \cdot 10^4$                 |
| 2,1             | $2,992 \cdot 10^3$                 | 4,5             | $3,63 \cdot 10^4$                  | 6,9             | $5,828 \cdot 10^4$                 | 9,3             | $5,729 \cdot 10^4$                 |
| 2,2             | $1,656 \cdot 10^3$                 | 4,6             | $4,098 \cdot 10^4$                 | 7,0             | $5,745 \cdot 10^4$                 | 9,4             | $5,789 \cdot 10^4$                 |
| 2,3             | $2,732 \cdot 10^3$                 | 4,7             | $4,278 \cdot 10^4$                 | 7,1             | $5,664 \cdot 10^4$                 | 9,5             | $5,86 \cdot 10^4$                  |
| 2,4             | $5,027 \cdot 10^3$                 | 4,8             | $3,927 \cdot 10^4$                 | 7,2             | $5,585 \cdot 10^4$                 | 9,6             | $5,943 \cdot 10^4$                 |
| 2,5             | $1,005 \cdot 10^4$                 | 4,9             | $3,59 \cdot 10^4$                  | 7,3             | $5,509 \cdot 10^4$                 | 9,7             | $6,037 \cdot 10^4$                 |
| 2,6             | $1,547 \cdot 10^4$                 | 5,0             | $3,016 \cdot 10^4$                 | 7,4             | $5,434 \cdot 10^4$                 | 9,8             | $6,142 \cdot 10^4$                 |
| 2,7             | $8,843 \cdot 10^4$                 | 5,1             | $2,71 \cdot 10^4$                  | 7,5             | $5,462 \cdot 10^4$                 | 9,9             | $6,258 \cdot 10^4$                 |
| 2,8             | $5,161 \cdot 10^5$                 | 5,2             | $2,417 \cdot 10^4$                 | 7,6             | $5,456 \cdot 10^4$                 | 10,0            | $6,384 \cdot 10^4$                 |

рые могут использоваться как справочные данные при подобных расчетах.

Результаты расчета  $\alpha_\lambda$  в графическом виде представлены на рис. 3. Следует обратить внимание на то, что при  $\lambda < 2,5$  мкм эффективность экранирования резко снижается. Кроме того, существуют спектральные полосы (при длине волны 3 и 6,1 мкм) с аномально высоким коэффициентом поглощения.

При  $e^{-0,84\alpha_\lambda D} \rightarrow 0$  формула (15) переходит в (12), а (16) — в (13), т. е. капли поглощают все проникающее в них излучение. Данное условие равносильно  $\alpha_\lambda D \rightarrow \infty$ . На практике достаточно выполнения условия

$$\alpha_\lambda D \gg 3. \quad (17)$$

Спектром пропускания водяной завесы называется график зависимости  $H_\lambda(\lambda)$ . Примеры таких спектров представлены на рис. 4.

Очевидно, что локальные минимумы спектров на рис. 4 соответствуют максимумам  $\alpha_\lambda$  на рис. 3.

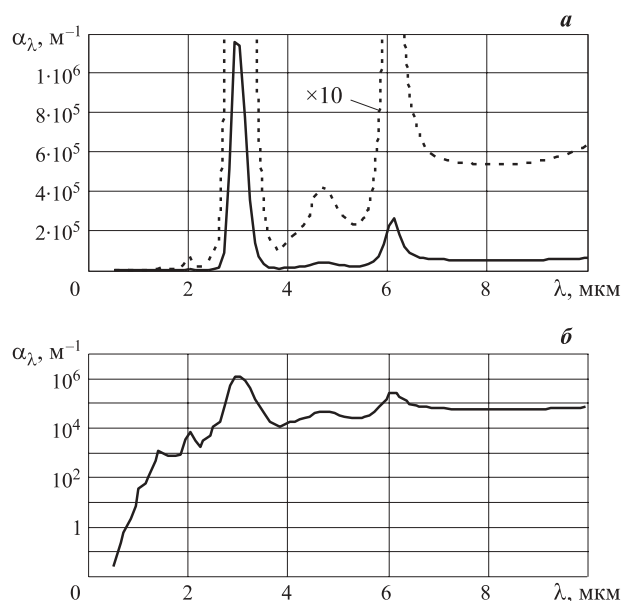


Рис. 3. Зависимость коэффициента поглощения воды от длины волны излучения в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабе

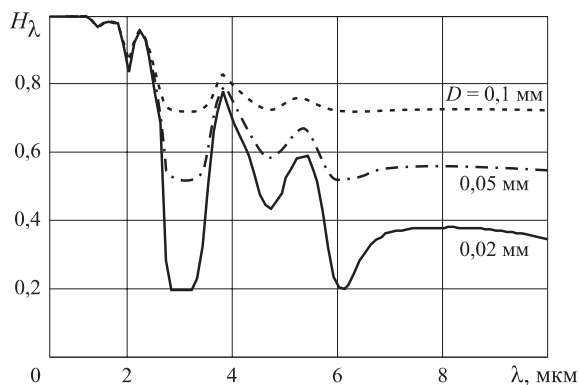


Рис. 4. Спектры пропускания водяной завесы для  $w_{\text{мт}} = 0,1$  при  $l = 0,2$  м

Кроме того, при выполнении условия (17) каждый спектр выходит на некоторый минимальный уровень, что особенно заметно при увеличении диаметра капли. Этот минимальный уровень соответствует величине геометрического коэффициента пропускания  $H_g$ , вычисляемого по формуле (12).

### 2.3. Экранирование излучения абсолютно черного тела

Спектральная интенсивность излучения абсолютно черного тела (АЧТ) определяется выражением (формулой Планка):

$$I_{b,\lambda} = \frac{I_{b0}}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{hc_0}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right]}, \quad (18)$$

где  $I_{b0}$  — нормирующий коэффициент;

$h$  — постоянная Планка, Дж·с;

$c_0$  — скорость света в вакууме, м/с;

$k_B$  — постоянная Больцмана, Дж/К;

$T$  — абсолютная температура АЧТ (в данном случае равна температуре очага пожара), К.

Для расчета коэффициента пропускания капли по формуле (2) в этом случае значения  $W_{in}$  и  $W_{out}$  (входящий в каплю и выходящий из нее интегральные потоки теплового излучения соответственно) рассчитываются интегрированием спектральных потоков по всем длинам волн:

$$W_{in} = \int_0^\infty W_{in,\lambda} d\lambda; \quad (19)$$

$$W_{out} = \int_0^\infty W_{out,\lambda} d\lambda. \quad (20)$$

Входящий спектральный поток (т. е. поток при некоторой длине волны  $\lambda$ ) прямо пропорционален спектральной интенсивности излучения очага пожара:

$$W_{in,\lambda} = C_d I_{b,\lambda}, \quad (21)$$

где  $C_d$  — сечение капли для данного взаимодействия;  $C_d = 0,934\pi D^2/4$ .

Выходящий спектральный поток определяется по формуле [17, 18]:

$$W_{out,\lambda} = W_{in,\lambda} e^{-0,84\alpha_\lambda D}. \quad (22)$$

Таким образом, коэффициент пропускания капли для излучения АЧТ

$$\eta = \frac{\int_0^\infty I_{b,\lambda} e^{-0,84\alpha_\lambda D} d\lambda}{\int_0^\infty I_{b,\lambda} d\lambda}. \quad (23)$$

Применение данной формулы предполагает выполнение численного интегрирования в компьютере с использованием таблицы значений коэффициента поглощения воды  $\alpha_\lambda$  (см. таблицу).

Если не требуется высокая точность расчетов, выполнения этой трудоемкой операции можно избежать. Взамен можно использовать найденную в [17, 18] функцию аппроксимации:

$$\eta(D, T) = AD^B + C, \quad (24)$$

где коэффициенты  $A, B, C$  — некоторые функции от температуры очага пожара  $T$ :

$$A = 1,25 \cdot 10^{-35} (T - 207,6)^{11,02}; \quad (25)$$

$$B = -2,329 + 1,6362 \cdot 10^{-3} T + 1,0519 \cdot 10^{-6} T^2 - 1,386 \cdot 10^{-9} T^3 + 5 \cdot 10^{-13} T^4 - 0,651 \cdot 10^{-16} T^5; \quad (26)$$

$$C = -9,59 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,002495 T}. \quad (27)$$

Эти функции аппроксимации определены для ограниченных интервалов значений диаметра капель  $0,05 \text{ мм} < D < 1 \text{ мм}$  и температуры абсолютно черного тела (источника излучения)  $700 \text{ К} < T < 1800 \text{ К}$ .

Следует учесть, что результат расчета по формуле (24) чрезвычайно “чувствителен” к значениям численных параметров в расчетных формулах (25)–(27), поэтому попытки их округления или какого-либо преобразования могут сильно исказить результат расчета.

Таким образом, расчетные формулы (6) и (24)–(27) позволяют выполнить приближенный расчет коэффициента пропускания монодисперсной однородной водяной завесы постоянной толщины для заданной эффективной температуры очага пожара в предположении, что спектр его излучения соответствует спектру абсолютно черного тела. При такой методике расчета отпадает необходимость использования таблицы значений коэффициента поглощения воды  $\alpha_\lambda$  (см. таблицу).

#### 2.4. Экранирование излучения реального очага пожара

Анализ литературных данных по спектрам излучения различных пожаров позволяет сделать следующие выводы [20, 24]:

1) в большинстве случаев форму этих спектров можно определить как сумму двух основных компонентов — спектра излучения АЧТ и молекулярных полос газообразных продуктов горения;

2) существенное влияние на форму спектра излучения могут оказывать две молекулярные полосы, расположенные при длинах волн 4,4 мкм ( $\text{CO}_2$ ) и 2,7 мкм ( $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ).

Спектры излучения реальных пожаров в большинстве случаев достаточно близки к модельным спектрам, представленным следующим соотношением [20]:

$$I_\lambda = (1 - \psi) I_{b,\lambda} + \psi I_{m,\lambda}, \quad (28)$$

где  $\psi$  — весовой коэффициент, определяющий соотношение вкладов в общий спектр излучения

компонентов  $I_{b,\lambda}$  (спектр АЧТ) и  $I_{m,\lambda}$  (молекулярные полосы).

Для расчетов  $I_{b,\lambda}$  используем формулу (17) при соответствующей температуре  $T$ . Для расчетов вклада  $I_{m,\lambda}$  предлагается использовать две названные выше полосы в виде линейной комбинации лоренцианов с соотношением интенсивностей 25:1:

$$I_{m,\lambda} = I_{m0} \left( \frac{(\Delta\lambda_1)^2}{(\lambda - \lambda_{01})^2 + (\Delta\lambda_1)^2} + \frac{0,04(\Delta\lambda_2)^2}{(\lambda - \lambda_{02})^2 + (\Delta\lambda_2)^2} \right), \quad (29)$$

где  $I_{m0}$  — нормирующий коэффициент;

$\Delta\lambda_{01} = 0,14 \text{ мкм}$  и  $\Delta\lambda_{02} = 0,22 \text{ мкм}$  — полуширина на полувисоте каждой из полос;

$\lambda_{01} = 4,4 \text{ мкм}$  и  $\lambda_{02} = 2,7 \text{ мкм}$  — положение центров полос.

Расчет коэффициента пропускания капли для излучения со спектром, заданным формулой (28), производится по той же методике, что и для излучения АЧТ. С этой целью применяем расчетную формулу, подобную (23), т. е. выполняем численное интегрирование с использованием таблицы значений коэффициента поглощения воды  $\alpha_\lambda$  (см. таблицу).

На рис. 5 представлен конкретный пример расчета спектров  $W_{in,\lambda}$  и  $W_{out,\lambda}$  при  $\psi = 0,2$ ;  $D = 0,1 \text{ мм}$ ;  $T = 1200 \text{ К}$ . В соответствии с (11), (19) и (20) коэффициент пропускания капли равен отношению площади под кривой  $W_{out,\lambda}$  (заштрихованная площадь) к площади под кривой  $W_{in,\lambda}$ . Спектры нормированы на высоту наибольшего максимума. На рис. 5 представлена также зависимость коэффициента поглощения воды  $\alpha_\lambda$  от длины волны (в произвольном масштабе).

Для упрощения процедуры расчета можно использовать функцию аппроксимации, которая позволяет найти приближенные значения коэффициента пропускания капли  $\eta$  с помощью расчетных формул, без численного интегрирования и без использования таблицы значений коэффициента поглощения воды.

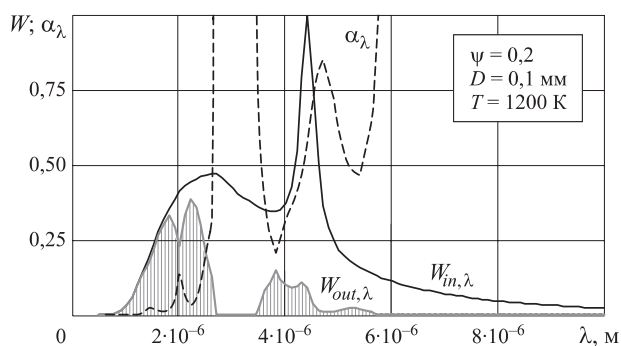


Рис. 5. Пример расчета спектров  $W_{in,\lambda}$  и  $W_{out,\lambda}$  и зависимость  $\alpha_\lambda$  от длины волны при заданных параметрах  $\psi, D$  и  $T$

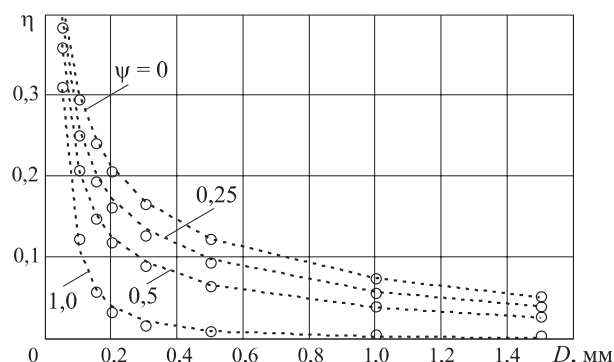


Рис. 6. Расчет зависимостей  $\eta(D)$ : — — — — аппроксимация по формуле (30);  $\circ$  — точный расчет по формуле (23)

Функция аппроксимации получена в [20]:

$$\eta(\psi, D) = (1 - \psi) \eta(0, D) + \psi \eta(1, D). \quad (30)$$

В данном соотношении функция  $\eta(0, D)$  (коэффициент пропускания капли для излучения АЧТ) задается расчетными формулами (24)–(27).

Для зависимости  $\eta(1, D)$  получена следующая функция аппроксимации:

$$\eta(1, D) = 1,8 \cdot 10^{-7} D^{-1,45} - 2 \cdot 10^{-3}. \quad (31)$$

Пример точного расчета по формуле (23) и приближенного расчета, выполненного с помощью функции аппроксимации (30), представлен в графическом виде на рис. 6. При их сравнении можно убедиться в том, что они достаточно близки.

Согласно результатам расчета при увеличении параметра  $\psi$  (при возрастании доли молекулярных полос в спектре излучения) коэффициент пропускания капли уменьшается.

### 3. Полидисперсная водяная завеса

Все представленные выше формулы получены в приближении монодисперсной водяной завесы, т. е. они справедливы для случая, который на практике не реализуется. Многие теоретики используют это приближение для упрощения расчетов, а полученные результаты применяют на практике, принимая, что диаметр капель монодисперсной завесы — это средний диаметр Саутера. В работе [19] показано, что монодисперсную завесу, действительно, можно применить как модель реальной полидисперсной завесы, но при этом установлено, что диаметр ее капель не равен среднему диаметру Саутера, а вычисляется по специальной формуле (см. формулы (36), (37)).

В данной работе использована функция логарифмически нормального распределения капель водяной завесы по их размерам (диаметрам):

$$f(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma D} \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma^2} \left( \ln \frac{D}{\mu} \right)^2 \right], \quad (32)$$

где  $\sigma$  — параметр формы, который определяет ширину функции распределения капель;

$\mu$  — медиана (параметр масштаба) функции распределения капель.

Средний диаметр капель (математическое ожидание распределения (32)) определяется соотношением [25]:

$$D_{av} = \mu e^{\sigma^2/2}. \quad (33)$$

#### 3.1. Экранирование монохроматического излучения

Будем рассматривать полидисперсную водяную завесу как совокупность монодисперсных завес, каждой из которых соответствует одно значение из дискретного спектра диаметров капель, соответствующего заданному распределению  $f(D)$ . Весь диапазон значений диаметров капель представлен в виде ряда дискретных величин с шагом  $\Delta D$ :  $D_i = i\Delta D$ , где параметр  $i$  принимает целочисленные значения. Коэффициент пропускания полидисперсной завесы в целом равен произведению коэффициентов пропускания ее монодисперсных компонентов:

$$H_\lambda = \prod_{i=1}^{i_{\max}} H_{\lambda,i}. \quad (34)$$

Используя методику, подобную применяемой для монодисперсной завесы (см. (16)), получим расчетную формулу для спектрального коэффициента пропускания завесы [19]:

$$H_\lambda = \prod_{i=1}^{i_{\max}} \exp \left[ -0,559(1 - e^{-0,84\alpha_\lambda D_i}) \frac{w_{vv} l \Delta D D_i}{\sigma D_{av}^3} \times \right. \\ \left. \times e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left( \ln \frac{D_i}{D_{av}} + \frac{\sigma^2}{2} \right)^2 - 3\sigma^2} \right]. \quad (35)$$

Исходя из опыта выполненных ранее расчетов для достижения их приемлемой точности следует принимать  $i_{\max} > 200$ .

Формула (35) существенно сложнее формулы (16), применяемой для расчета коэффициента пропускания монодисперсных завес  $H_\lambda$ . Для упрощения формул произведем замену полидисперсной завесы на эквивалентную ей по экранирующим свойствам монодисперсную (при том же относительном количестве воды  $w_{vv}$ ).

В работе [19] найдена расчетная формула для диаметра капель эквивалентной монодисперсной завесы:

$$D_{eq} = -1,4 w_{vv} l \left\{ \ln \prod_{i=1}^{i_{\max}} \exp \left[ -0,559 \frac{w_{vv} l \Delta D D_i}{\sigma D_{av}^3} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left( \ln \frac{D_i}{D_{av}} + \frac{\sigma^2}{2} \right)^2 - 3\sigma^2} \right] \right\}^{-1}. \quad (36)$$

Определена также функция аппроксимации для  $D_{eq}$ , которая позволяет упростить ее расчет:

$$D_{eq} = D_{av} e^{2,33\sigma^2,33}. \quad (37)$$

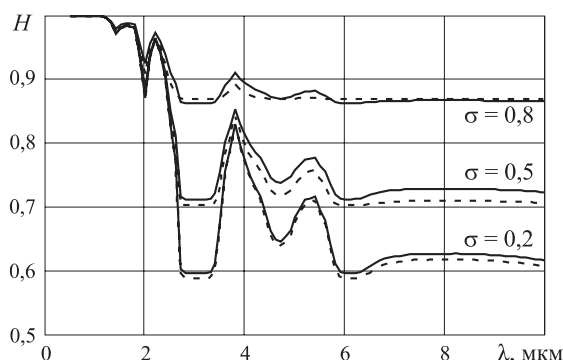


Рис. 7. Расчет спектров пропускания водяной завесы: — по формуле (35); - - - по формуле (39)

Подставляя (37) в (13), получим геометрический коэффициент пропускания полидисперсной завесы:

$$H_g(\sigma) = \exp\left(-1,4 \frac{w_{vv} l}{D_{av}} e^{-2,33\sigma^{2,33}}\right). \quad (38)$$

Подставляя (37) в (16), получим формулу для расчета спектра пропускания полидисперсной завесы:

$$H_\lambda = \exp\left[-1,4 \left(1 - e^{-0,84\alpha_\lambda D_{av} e^{2,33\sigma^{2,33}}}\right) \times \frac{w_{vv} l}{D_{av}} e^{-2,33\sigma^{2,33}}\right]. \quad (39)$$

Однако, применяя приближенную формулу (39) вместо точной формулы (35), следует иметь в виду, что она хорошо определяет общую форму спектра, но плохо учитывает его особенности. Для практических целей (расчет интегрального коэффициента пропускания) это не имеет большого значения, так как результат интегрирования по большому спектральному интервалу малочувствителен к мелким особенностям спектра.

Пример сравнения двух методик расчета спектров пропускания завесы при  $D_{av} = 50$  мкм;  $w_{vv} = 10^{-4}$ ;  $l = 0,2$  м представлен на рис. 7.

### 3.2. Экранирование излучения абсолютно черного тела

Повторяя те же математические процедуры, что и при выводе формулы (35), получим коэффициент пропускания водяной завесы для немонахроматического излучения (АЧТ):

$$H_b = \prod_{i=1}^{i_{\max}} \exp\left\{-0,559[1 - \eta_b(D_i, T)] \frac{w_{vv} l \Delta D D_i}{\sigma D_{av}^3} \times e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\ln \frac{D_i}{D_{av}} + \frac{\sigma^2}{2}\right)^2 - 3\sigma^2}\right\}. \quad (40)$$

Коэффициент пропускания сферической капли воды для излучения АЧТ  $\eta_b$  можно рассчитать по приближенным формулам (24)–(27).

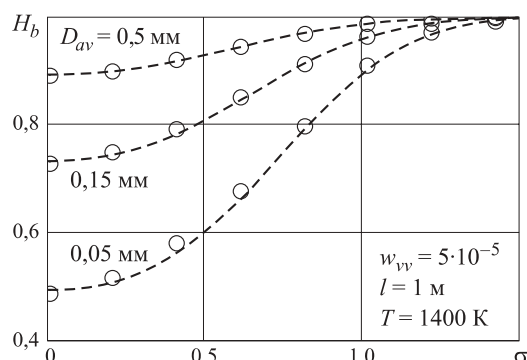


Рис. 8. Расчет зависимостей  $H_b(\sigma)$ : ○ — по формуле (40); — по формуле (41)

Используем эквивалентную монодисперсную водяную завесу с целью упрощения расчетной формулы (40). Подставляя (37) в (10), получим:

$$H_b = \exp\left\{-1,4[1 - \eta_b(D_{av} e^{2,33\sigma^{2,33}}, T)] \times \frac{w_{vv} l}{D_{av}} e^{-2,33\sigma^{2,33}}\right\}. \quad (41)$$

Для проверки соответствия результатов расчетов, полученных с помощью точной формулы (40) и приближенной (41), на рис. 8 представлена серия графиков при типичных значениях параметров водяных завес. Их сравнение позволяет сделать вывод, что погрешность, связанная с применением приближенной формулы (41), не превышает 3–4 % от величины  $H_b$ .

### 3.3. Экранирование излучения реального очага пожара

В случае реального пожара спектр излучения моделируется функцией (28). Расчет коэффициента пропускания капли  $\eta$  выполняется с помощью функции аппроксимации (30), а учет полидисперсного состава капель — заменой диаметра капли на его эквивалентное значение (37). Для расчета коэффициента пропускания завесы необходимо использовать те же расчетные формулы (40) и (41), но уже без индекса  $b$  (черное тело) у параметров  $H$  и  $\eta$ .

В итоге, набор расчетных формул для наиболее общего случая (произвольный спектр излучения пожара, полидисперсная водяная завеса) можно представить в виде:

$$D_{eq} = D_{av} e^{2,33\sigma^{2,33}}; \quad (42)$$

$$\eta(0, D_{eq}) = A D_{eq}^B + C; \quad (43)$$

$$A = 1,25 \cdot 10^{-35} (T - 207,6)^{11,02}; \quad (44)$$

$$B = -2,329 + 1,6362 \cdot 10^{-3} T + 1,0519 \cdot 10^{-6} T^2 - 1,386 \cdot 10^{-9} T^3 + 5 \cdot 10^{-13} T^4 - 0,651 \cdot 10^{-16} T^5; \quad (45)$$

$$C = -9,59 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,0024957 T}; \quad (46)$$

$$\eta(1, D_{eq}) = 1,8 \cdot 10^{-7} D_{eq}^{-1,45} - 2 \cdot 10^{-3}; \quad (47)$$

$$\eta(\psi, D_{eq}) = (1 - \psi) \eta(0, D_{eq}) + \psi \eta(1, D_{eq}); \quad (48)$$

$$H_{\lambda} = \exp \left[ -1,4 \left( 1 - e^{-0,84 \alpha_{\lambda} D_{eq}} \right) \frac{w_{vv} l}{D_{eq}} \right]; \quad (49)$$

$$H = \exp \left\{ -1,4 [1 - \eta(\psi, D_{eq})] \frac{w_{vv} l}{D_{eq}} \right\}. \quad (50)$$

Формулы (42)–(50) включают в себя все рассмотренные выше частные случаи:

- для полностью поглощающих капель в формуле (50) нужно задать  $\eta = 0$ ;
- для монодисперсной завесы нужно взять  $\sigma = 0$ ;
- для монохроматического излучения использовать формулу (49);
- для немонохроматического излучения использовать формулу (50);
- для излучения АЧТ нужно взять  $\psi = 0$ .

### 3.4. Методика выполнения расчета коэффициента пропускания водяной завесы

Для выполнения расчета необходимо задать исходные параметры, набор которых зависит от конкретной задачи:  $D_{av}$ ,  $\sigma$ ,  $T$ ,  $\psi$ ,  $w_{vv}$ ,  $l$ ,  $\alpha_{\lambda}$ . При определении численных значений параметров необходимо использовать систему единиц СИ.

Определение параметров функции распределения капель по размерам  $D_{av}$  и  $\sigma$  осуществляется для каждого оросителя с помощью экспериментальных измерений, позволяющих построить гистограмму такого распределения. Далее по экспериментальной гистограмме производится подбор функции логарифмически нормального распределения (например, методом наименьших квадратов) с оптимальными параметрами  $D_{av}$  и  $\sigma$ . Очевидно, в дальнейшем оросители, предназначенные для создания водяных завес, должны иметь эти параметры среди паспортных технических характеристик.

Эффективная температура очага пожара  $T$  является усредненным параметром, поскольку тепловое излучение из разных зон пожара имеет разную эффективную температуру. Кроме того, эта температура зависит от вида горючего вещества и от условий его горения (интенсивности газообмена, состава газовой среды и др.). Например, согласно данным [24] достаточно типичным значением эффективной температуры коптящего пламени и дымовых газов при горении нефтепродуктов является 1200 К. В целом по данному вопросу необходимо выполнить анализ литературных данных и составить таблицу типичных значений эффективных температур для основных видов пожаров. Понятно, что это должны быть температуры, определенные по спектральным характеристикам излучения.

Аналогичную таблицу необходимо создать также при определении коэффициента  $\psi$ , характеризующего относительный вклад молекулярных полос в спектр излучения пожара. Для этого должен быть выполнен анализ спектров излучения пожаров разных типов с целью их классификации по признаку формы спектров и расчета  $\psi$ .

Объемная доля воды в завесе  $w_{vv}$  является также экспериментально определяемым параметром, который к тому же имеет различные значения в разных пространственных зонах завесы и существенно зависит от типа оросителя и режима его работы (прежде всего от давления). Возможен расчет этой величины с помощью одного из пакетов вычислительной гидродинамики (CFX, FLUENT, FlowVision и др.). Вероятно, в будущем от предприятий, производящих оросители для водяных завес, необходимо будет требовать дополнения их технических характеристик соответствующими таблицами или графиками, содержащими усредненные значения параметра  $w_{vv}$  (зависимость от пространственных координат и давления).

Толщина завесы  $l$ , как правило, входит в число паспортных характеристик оросителей. Коэффициент поглощения воды  $\alpha_{\lambda}$  можно определить по таблице.

Таким образом, при расчете коэффициента пропускания водяной завесы наиболее проблемным вопросом является задание исходных параметров расчета. После этого выполнение самого расчета производится по формулам (42)–(50) с помощью любого пакета программ компьютерной математики или даже карманного инженерного калькулятора.

Следует иметь в виду, что формулы (42)–(50) получены в результате применения ряда приближений и аппроксимаций. В тексте данной работы приведены более точные расчетные формулы, но они требуют применения более сложных компьютерных расчетов. Для практических задач пожарной охраны точность расчетов, которую обеспечивают формулы (42)–(50), является вполне достаточной.

## Выводы

Обобщение результатов ранее опубликованных работ [17–20] позволило систематизировать основные расчетные формулы и рассмотреть ряд частных случаев, связанных с расчетом экранирующих свойств водяных завес противопожарного назначения.

Обобщенная система расчетных формул (42)–(50) позволяет выполнять приближенное вычисление коэффициентов пропускания разных водяных завес для излучения пожаров разных типов.

Для более точных расчетов приведена таблица значений коэффициента поглощения воды  $\alpha_{\lambda}$ , а так-

же расчетные формулы для определения свойств водяных завес с помощью численного интегрирования.

Представленная математическая модель рассматривает плоскую однородную водяную завесу, поэто-

му ее дальнейшее усовершенствование предполагает развитие методов расчета реальной формы водяных завес, пространственного распределения капель и их влияния на экранирующие свойства водяных завес.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жаров А., Зархин А., Митрофанова М. Дренчерные завесы: теория и практика // БДИ. — 2006. — № 5 (68). — С. 24–28. URL : <http://mx1.algoritm.org/arch/?id=22&a=547> (дата обращения: 10.06.2013 г.).
2. Мешман Л. М., Цариченко С. Г., Былинкин В. А., Алешин В. В., Губин Р. Ю. Проектирование водяных и пенных автоматических установок пожаротушения / Под общ. ред. Н. П. Копылова. — М. : ВНИИПО МЧС РФ, 2002. — 413 с.
3. ГОСТ Р 51043–2002. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.07.2003. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002.
4. ДСТУ 5027:2008. Противопожарная техника. Установки водяного пожаротушения автоматические. Оросители для водяных завес. Общие технические требования и методы испытаний : утв. приказом Держспоживстандарту от 12.06.2008 г. № 192; введ. 01.01.2010 г. — Киев, 2008. URL : [www.epicentre.com.ua/doc17259.htm](http://www.epicentre.com.ua/doc17259.htm) (дата обращения: 10.06.2013 г.).
5. ВСН 12–87. Причалные комплексы для перегрузки нефти и нефтепродуктов. Противопожарная защита. Нормы проектирования : утв. Минморфлотом СССР 29.05.87 г.; введ. 01.06.87 г. — Тип. В/О “Мортехинформреклама”, 1988. — 17 с.
6. Собещанський Д. І., Анохін Г. О., Склизкова Л. А. Водяні завіси в системах забезпечення протипожежного захисту об'єктів різного призначення // Науковий вісник УкрНДІПБ. — 2010. — № 2 (22). — С. 148–153.
7. Бородин А. Н., Леончук П. А., Лицкевич В. В., Шамонин В. Г. Проблемы численного моделирования водяных завес, создаваемых оросителями: обзор публикаций // Пожарная безопасность, 2009. — № 4. — С. 92–105.
8. Ravigururajan T. S., Beltan M. R. A Model for attenuation of fire radiation through water droplets // Fire Safety J. — 1989. — Vol. 15. — P. 171–181.
9. Coppalle A., Nedelka D., Bauer B. Fire protection: water curtains // Fire Safety J. — 1993. — Vol. 20. — P. 241–255.
10. Dembele S., Wen J. X., Sacadura J. F. Experimental study of water sprays for the attenuation of fire thermal radiation // ASME J. Heat Transfer. — 2001. — Vol. 123, No. 3. — P. 534–543.
11. Yang W., Parker T., Ladouceur H., Kee R. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression // Fire Safety J. — 2004. — Vol. 39. — P. 41–66.
12. Buchlin J.-M. Thermal shielding by water spray curtain // J. Loss Prev. Process Industries. — 2005. — Vol. 18, No. 4–6. — P. 423–432.
13. Collin A., Boulet P., Lacroix D., Jeandel G. On radiative transfer in water spray curtains using the discrete ordinates method // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. — 2005. — Vol. 92. — P. 85–110.
14. Boulet P., Collin A., Parent G. Heat transfer through a water spray curtain under the effect of a strong radiative source // Fire Safety J. — 2006. — Vol. 41 (1). — P. 15–30.
15. Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G. Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield // Numerical Heat Transfer, Part A: Applications. — 2010. — Vol. 57. — P. 537–553.
16. Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoune K. Contribution to fire protection of the LNG storage tank using water curtain // Int. J. of Thermal & Environmental Engineering. — 2011. — Vol. 2, No. 2. — P. 91–98.
17. Виноградов А. Г. Поглощение теплового излучения водяными завесами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 73–82.
18. Виноградов А. Г. Поглощение теплового излучения водяными завесами. Часть 2 // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 72–84.
19. Виноградов А. Г. Экранирование теплового излучения полидисперсными водяными завесами // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 6. — С. 74–84.
20. Виноградов А. Г. Учет спектрального состава теплового излучения при расчете коэффициента пропускания капли воды // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 9. — С. 64–73.

21. Шифрин К. С. Рассеяние света в мутной среде. — М. : Гостехиздат, 1951. — 288 с.
22. Виноградов А. Г. Розсіяння теплового випромінювання сферичними краплями води // Вестник Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”, сер.: Машиностроение. — 2005. — № 47. — С. 51–54.
23. Hale G. M., Querry M. P. Optical constants of water in the 200 nm to 200 mm wavelength region // Appl. Optics. — 1973. — Vol. 12, No. 3. — P. 555–563.
24. Försth M., Möller K. Absorption of heat radiation in liquid droplets // SP Report 2011:75. Boras SE: Fire Technology, SP Technical Research Institute of Sweden. — 57 p. URL : <http://www-v2.sp.se/publ/ViewDocument.aspx?RapportId=13090> (дата обращения: 10.06.2013 г.).
25. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям. — СПб. : Наука, 2001. — 295 с.

Материал поступил в редакцию 24 июня 2013 г.

English

## CALCULATION METHOD OF WATER CURTAIN SHIELDING PROPERTIES

**VINOGRADOV A. G.**, Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Combustion Processes, Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, Ministry of Emergencies of Ukraine (Onoprienko St., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine; e-mail address: vin ag@mail.ru)

### ABSTRACT

This work represents generalization of earlier received results of simulation of water curtains used as fire protection walls. The central objective of the study is to characterize the interaction of the water spray with thermal radiation. Radiative properties for the droplets are calculated applying the geometrical optics approximation. Results of the analysis of the reference special cases formed a basis for receiving calculated formulae of common character. These formulae have been used to calculate transmittances of water curtains for thermal radiation of a near infrared range 1–10  $\mu\text{m}$ . According to the received formulas, the transmittance of a water curtain depends on distribution of droplets by the sizes, specific water content, thickness of a curtain, spectral characteristics of a thermal radiation. Approximation functions which allow to avoid heavy operations of a numerical integration are applied to simplification of calculated formulae. The developed techniques allow to take into account parameters of a cumulative distribution function of droplets by the sizes and parameters of a radiation spectrum of the seat of fire. The complete set of calculated formulas received in the work allows to define an integral transmittance of a water curtain or to construct a transmission spectrum for the given initial parameters.

**Keywords:** water curtain; thermal radiation; transmittance; calculation method.

### REFERENCES

1. Zharov A., Zarkhin A., Mitrofanova M. Drenchernyye zavesy: teoriya i praktika [Drencher curtains: theory and practice]. *BDI*, 2006, no. 5 (68), pp. 24–28. Available at: <http://mx1.algoritm.org/arch/?id=22&a=547> (Accessed 10 June 2013).
2. Meshman L. M., Tsarichenko S. G., Bylinkin V. A., Aleshin V. V., Gubin R. Yu. *Proektirovaniye vodyanykh i pennykh avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya* [Projection of water and foamy automatic installations of a firefighting]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2002. 413 p.
3. *State Standard 51043–2002. Automatic water and foam fire fighting systems. Sprinklers, spray nozzles and water mist nozzles. General technical requirements. Test methods.* Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2002 (in Russian).
4. *State Standard of Ukraine 5027:2008. Fire-prevention technique. Installations of water firefighting the automatic. Sprinklers for water curtains. Common performance specification and test methods.* Kiev, 2008. Available at: [www.epicentre.com.ua/doc/17259.htm](http://www.epicentre.com.ua/doc/17259.htm) (Accessed 10 June 2013) (in Ukrainian).
5. *Departmental building norms 12–87. Mooring complexes for an overload of oil and oil products. Fire-prevention protection. Norms of projection.* Moscow, V/O Mortechnikinformreklama Publ., 1988 (in Russian).

6. Sobeshchanskiy D. I., Anokhin G. O., Sklyzkova L. A. Vodyani zavisi v sistemakh zabezpechennya protipozhezhnogo zakhistu obyektiv raznogo pryznachennya [Water curtains in systems of ensuring fire-prevention protection of objects of different function]. *Naukoviy visnyk UkrNDIPB — Scientific Journal of UkrNDIPB*, 2010, no. 2 (22), pp. 148–153.
7. Borodkin A. N., Leonchuk P. A., Litskevich V. V., Shamonin V. G. Problemy chislennogo modelirovaniya vodyanykh zaves, sozdavayemykh orositelyami: obzor publikatsiy [Problems of numerical simulation of the water curtains created by sprinklers: review of publications]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2009, no. 4, pp. 92–105.
8. Ravigururajan T. S., Beltan M. R. A Model for attenuation of fire radiation through water droplets. *Fire Safety Journal*, 1989, vol. 15, pp. 171–181.
9. Coppalle A., Nedelka D., Bauer B. Fire protection: water curtains. *Fire Safety Journal*, 1993, vol. 20, pp. 241–255.
10. Dembele S., Wen J. X., Sacadura J. F. Experimental study of water sprays for the attenuation of fire thermal radiation. *ASME J. Heat Transfer*, 2001, vol. 123, no. 3, pp. 534–543.
11. Yang W., Parker T., Ladouceur H. D., Kee R. J. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression. *Fire Safety Journal*, 2004, vol. 39, no. 1, pp. 41–66.
12. Buchlin J.-M. Thermal shielding by water spray curtain. *J. Loss Prev. Process Industries*, 2005, vol. 18, no. 4–6, pp. 423–432. Available at: [http://www.iitk.ac.in/che/jpg/papersb/full %20papers/B-%2071.pdf](http://www.iitk.ac.in/che/jpg/papersb/full%20papers/B-%2071.pdf) (Accessed 10 June 2013).
13. Collin A., Boulet P., Lacroix D., Jeandel G. On radiative transfer in water spray curtains using the discrete ordinates method. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2005, vol. 92, pp. 85–110.
14. Boulet P., Collin A., Parent G. Heat transfer through a water spray curtain under the effect of a strong radiative source. *Fire Safety Journal*, 2006, vol. 41, no. 1, pp. 15–30. Available at: <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/11/37/28/PDF/Boulet2006.pdf> (Accessed 10 June 2013). doi: 10.1016/j.fire-saf.2005.07.007.
15. Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G. Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 2010, vol. 57, pp. 537–553.
16. Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoune K. Contribution to fire protection of the LNG storage tank using water curtain. *Int. J. of Thermal & Environmental Engineering*, 2011, vol. 2, no. 2, pp. 91–98.
17. Vinogradov A. G. Pogloshcheniye teplovogo izlucheniya vodyanyimi zavesami [Thermal radiation absorption by water curtains]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 73–82.
18. Vinogradov A. G. Pogloshcheniye teplovogo izlucheniya vodyanyimi zavesami. Chast 2 [Thermal radiation absorption by water curtains. Part 2]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 72–84.
19. Vinogradov A. G. Ekranirovaniye teplovogo izlucheniya polidispersnymi vodyanyimi zavesami [Heat radiation shielding by the polydisperse water curtains]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 6, pp. 74–84.
20. 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]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 9, pp. 64–73.
21. Shifrin K. S. *Rasseyaniye sveta v mutnoy srede* [Light scattering in a turbid medium]. Moscow, Gostekhizdat, 1951. 288 p.
22. Vinogradov A. G. Rozsiyannya teplovogo viprominyuvannya sferichnimi kraplyami vodi [Scattering of thermal radiation by spherical water droplets]. *Vestnik Natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta Ukrainy “Kievskiy politekhnicheskyy institut”, ser. Mashinostroyeniye — Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”*, 2005, no. 47, pp. 51–54.
23. Hale G. M., Querry M. P. Optical constants of water in the 200 nm to 200 mm wavelength region. *Appl. Optics*, 1973, vol. 12, no. 3, pp. 555–563.
24. Försth M., Möller K. Absorption of heat radiation in liquid droplets. *SP Report 2011:75. Boras SE: Fire Technology*, SP Technical Research Institute of Sweden, 57 p. Available at: <http://www-v2.sp.se/publ/ViewDocument.aspx?RapportId=13090> (Accessed 10 June 2013).
25. Vadzinskiy R. N. *Spravochnik po veroyatnostnym raspredeleniyam* [Handbook of probability distributions]. St.-Petersburg, Nauka Publ., 2001. 295 p.



Пенообразователи

**Шторм**

Точный расчет на безопасность!



РЕКЛАМА

Шторм-М — высокоэффективный пленкообразующий синтетический фторсодержащий пенообразователь специального назначения. Основная область применения: химическая и нефтехимическая промышленность, аэродромы, а также везде, где необходимо за короткое время обеспечить тушение больших площадей с розливом нефти или нефтепродуктов либо предотвратить возгорание горючих жидкостей. Рекомендован для "подслоного" тушения. Срок годности фторсодержащих пенообразователей до 25 лет.

**ГЕФЕСТ**  
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 925 51 31  
[www.gefestnpk.ru](http://www.gefestnpk.ru)  
[www.shtpena.ru](http://www.shtpena.ru)

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

УДК 614.842.618

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ВОДОПЛЕНОЧНЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Представлены результаты исследований конструкций на основе водопленочных экранов с целью оценки эффективности их использования в качестве систем, обеспечивающих ограничение распространения парогазового облака и предотвращение горения при аварийных ситуациях, связанных с проливом сжиженного природного газа на объектах его хранения и распределения.

**Ключевые слова:** сжиженный природный газ; разгерметизация технологического оборудования; пролив сжиженного газа; парогазовое облако; водяная пленка.

Повышенная пожаровзрывоопасность объектов хранения и распределения сжиженного природного газа (СПГ) обусловлена рядом его специфических особенностей, которые при аварийных ситуациях реализуются в виде дополнительных по сравнению с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями опасных факторов. Серьезную опасность при аварийных ситуациях, связанных с разгерметизацией технологического оборудования, представляет пожаровзрывоопасное облако, которое образуется в результате интенсивного испарения аварийно истекающего продукта (опасной жидкости) и может распространяться на большие расстояния.

Воспламенение такого облака часто сопровождается взрывами с разрушением технологических коммуникаций, аппаратов и резервуаров, образованием новых участков дополнительного истечения продукта и каскадным развитием аварийной ситуации.

Анализ зарубежного и отечественного опыта в области разработки новых средств и способов противопожарной защиты объектов производства и хранения криогенных и сжиженных горючих и токсичных газов показывает, что в настоящее время значительное внимание уделяется техническим решениям, направленным на борьбу с загазованностью (предотвращение возможности распространения парогазового облака), которая является одной из главных задач при ликвидации аварий с проливами сжиженных горючих газов. Предложенные ранее способы и устройства для борьбы с загазованностью имеют ряд существенных недостатков и в силу этого не нашли широкого применения.

В работе [1] предлагается устройство для рассеивания облака тяжелых взрывоопасных газов, образующихся в результате утечки газообразующей

жидкости из наземной емкости. При возникновении аварийной ситуации вокруг емкости формируют ограждение, препятствующее распространению газогазового облака и огня, путем поднятия сплошного гибкого и огнестойкого материала. Устройство представляет собой сплошное ограждение, выполненное в виде двойного замкнутого обвалования, ограждающего территорию хранилища и образующего замкнутый канал. В канале размещено складываемое замкнутое ограждающее средство, выполненное из огнестойкого материала, нижняя кромка которого соединена с основанием канала. Конструкция снабжена устройством для вертикального разворачивания складываемого преграждающего средства, которое включает замкнутую подъемную оболочку и систему подачи в нее легкого газа. Верхняя кромка складываемого преграждающего средства соединена с замкнутой подъемной оболочкой. В случае аварийного истечения СПГ детекторы, сигнализирующие о наличии аварийной ситуации, автоматически включают систему подачи легкого газа внутрь подъемной оболочки, которая по мере наполнения газом поднимается вверх, увлекая за собой замкнутое ограждающее средство. Сформированное таким образом ограждение препятствует растеканию тяжелого газа по обширной территории, направляя его вверх, где под влиянием воздушных потоков он должен рассеяться.

Недостатками устройства являются сложность формирования ограждения, применение гибкого огнестойкого материала и необходимость использования легкого газа и системы его подачи, что обуславливает повышение стоимости данного технического решения. Наличие подъемного устройства для гибкого огнестойкого материала снижает на-

дежность конструкции, поскольку при возникновении аварийной ситуации велика вероятность его повреждения. Кроме того, при взрыве герметичность сплошного ограждения из огнестойкого материала может быть нарушена, и оно не сможет выполнять свою функцию, что приведет к распространению пожара. Да и сама оболочка, как и любой материал, имеет предел огнестойкости, который ограничивает время существования ограждения. Все это приводит к потере надежности и безопасности предложенного устройства. Наконец, испаряющийся тяжелый газ при заполнении объема внутри ограждения может перетечь через него и опуститься к земной поверхности, что повлечет за собой загазованность территории вокруг резервуара.

В работе [2] предлагается следующее решение данной проблемы. По верхней кромке обычного обвалования, предназначенного для сбора вытекающего жидкого природного газа, предлагается установить соединенный с источником пара распылительный коллектор. В его верхней части выполнены отверстия, предназначенные для формирования завесы из струек пара. Последние, выходя из отверстий вертикально вверх, создают паровую завесу вокруг емкости, которая предотвращает распространение тяжелого испаряющегося газа за обвалование и способствует рассеиванию газового облака. Внутри обвалования установлены детекторы системы сигнализации. Для реализации данного технического решения также требуется сложное и дорогое оборудование: постоянно действующий источник пара для формирования данной завесы, система обеспечения мгновенной подачи пара при получении сигнала от детекторов сигнализации. Кроме того, в случае возгорания газа паровая завеса не сможет предотвратить проникновение внутрь ограждения воздуха, который будет поддерживать процесс горения газа в замкнутом объеме. В связи с большой излучающей способностью горящего СПГ (при горении, например, сжиженного природного газа — метана плотность теплового потока превышает  $220 \text{ кВт/м}^2$  при температуре пламени  $1800^\circ\text{C}$ ) паровая завеса ослабляет мощность проходящего сквозь нее теплового потока всего в несколько раз, поэтому он остается достаточно сильным для инициирования горения горючих веществ за локализуемой данной завесой областью.

В статье [3], посвященной исследованию эффективности использования теплозащитных водопленочных экранов в качестве противопожарных преград для ослабления мощного теплового излучения при горении проливов СПГ, было установлено, что, наряду с защитой от внешних источников теплового излучения, названные конструкции обладают газоизолирующей способностью. Это дает

основание предположить, что на их основе могут быть разработаны устройства, уникальным образом совмещающие в себе набор наиболее важных и необходимых свойств, позволяющих успешно решить задачу пожарной защиты хранилищ СПГ.

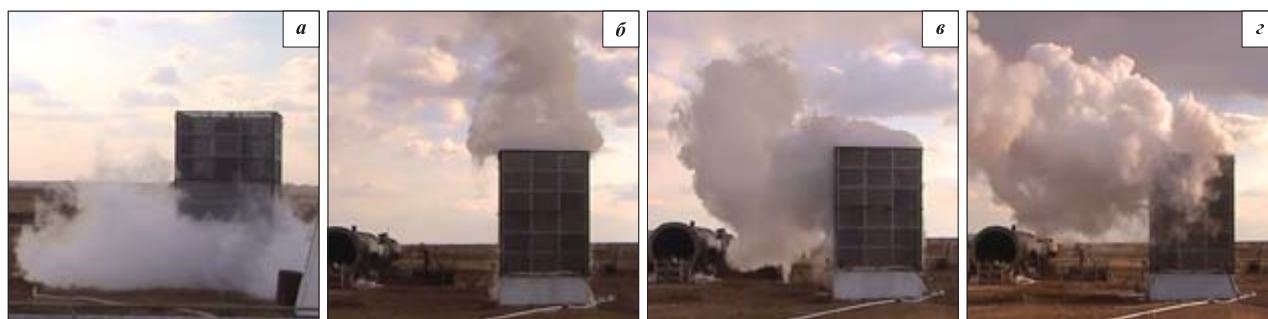
В настоящей статье представлены результаты исследований эффективности использования конструкций на основе водопленочных экранов в качестве средства борьбы с загазованностью при аварийных ситуациях, связанных с проливом СПГ на объектах его хранения и распределения.

В ходе экспериментов с имитацией аварийной утечки СПГ, подробно описанных в статье [3], было установлено, что испаряющийся газ через 3–5 с начинает свободно проникать через нижнюю часть сеточных панелей ограждения и растекаться по поверхности земли. После подачи воды в систему водоорошения панелей ограждения происходит герметизация ограждения водяными пленками, и испаряющийся газ локализуется внутри защитной конструкции, а после заполнения всего ограждаемого объема парогазовое облако выходит вверх, рассеиваясь в атмосфере. Однако при ветровом воздействии парогазовое облако увлекается к поверхности земли, что может привести к возникновению пожароопасной ситуации. На рис. 1 представлены снимки, иллюстрирующие данную серию экспериментов.

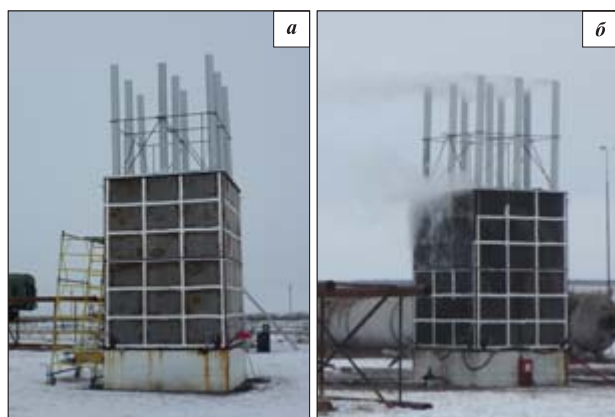
С целью исключения распространения парогазового облака конструкция ограждения была доработана: на его верхнем торце была установлена металлическая газонепроницаемая крыша с вертикальными трубами, через которые парогазовое облако сбрасывалось в атмосферу (рис. 2).

Эксперименты по оценке эффективности использования доработанного ограждения для ограничения распространения парогазового облака (см. рис. 2) показали, что при оснащении ограждения металлической газонепроницаемой крышей с вертикальными трубами такая конструкция обеспечивает сбрасывание парогазового облака из защищаемого объема в атмосферу и эффективное рассеивание его на безопасной высоте.

В следующей серии экспериментов с целью определения размеров пожароопасного облака, образующегося при выходе паров СПГ через трубы, производилось измерение размеров зон загазованности, а также осуществлялся дистанционный поджиг истекающего из труб газа (рис. 3). Зарегистрированные размеры пожароопасного облака, ограниченные контуром с концентрацией газа, соответствующей нижнему концентрационному пределу распространения пламени (НКПР), не превышали 8–10 м при расходе СПГ до  $15 \text{ кг/с}$ , что значительно (в 5–8 раз) меньше, чем при свободном испарении его без ограждающей конструкции.



**Рис. 1.** Эксперименты по исследованию использования конструкций на основе водоуплотненных экранов для ограничения распространения парогазового облака: *а* — через 30 с с момента подачи газа; *б* — при подаче воды на защитные экраны; *в* — через 90 с с момента подачи газа; *з* — через 180 с с момента подачи газа



**Рис. 2.** Вид доработанного ограждения (*а*) и один из этапов его испытаний на ограничение распространения парогазового облака (*б*)



**Рис. 3.** Эксперименты по оценке размеров пожароопасного облака, образующегося при выходе газа через трубы

Анализ рис. 3 показывает, что размеры пламени, которые также характеризуют размеры пожароопасного облака, образующегося при выходе газа

через трубы, весьма незначительны, при этом плотность теплового излучения на высоте 2 м от поверхности земли не превышает  $2,5 \text{ кВт/м}^2$ .

На следующем этапе экспериментов оценивались функциональные возможности защитных ограждений на основе водоуплотненных экранов при вспышке (взрыве) газа внутри ограждения. Эксперименты показали, что при поджоге газа, испаряющегося во внутренний объем защитного ограждения, взрыв не только не приводит к разрушению конструкции, но и не оказывает заметного влияния на ее работоспособность. В момент вспышки пленка жидкости разрывается, и избыточное давление сбрасывается через ячейки ограждения, а затем, благодаря подаче воды, на сеточных поверхностях вновь образуются водяные пленки, сохраняя функцию данной конструкции — предотвращать проникновение газов (в том числе воздуха из окружающей среды) сквозь ограждение. За счет исключения доступа окислителя (воздуха) в зону горения происходит самотушение в защищаемом пространстве, а процесс горения может иметь место только на сбросных трубах и протекать в безопасном режиме (см. рис. 3).

### Выводы

Защитные конструкции на основе водоуплотненных экранов являются эффективным средством ограничения распространения парогазового облака. При этом они обеспечивают предотвращение горения в защищаемом объеме, а также защиту от воздействия внешних источников теплового излучения в условиях горения пролива СПГ вокруг защитного ограждения [3].

Таким образом, конструкции на основе водоуплотненных экранов позволяют обеспечить эффективную защиту резервуаров и технологического оборудования с СПГ при наиболее опасных аварийных ситуациях, связанных с проливом сжиженного природного газа на объектах его хранения и распределения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 1695949А1 СССР. МПК А62 С3/00. Устройство для локализации аварий на наземных хранилищах взрывопожароопасных ядовитых жидкостей и газов / Акатьев В. А., Сафронов В. А., Соболев Г. П. — Оpubл. 07.12.91 г., Бюл. № 45.
2. Пат. 843704 Великобритания. МПК А62 С3/00. Устройство для рассеивания облака тяжелых взрывопожароопасных газов, образующихся в результате утечки из наземной емкости / Симпсон Г. Дж., Кьюд А. Л. — Оpubл. 30.06.81 г., Бюл. № 24.
3. Шимко В. Ю. Использование водо пленочных теплозащитных экранов для защиты от теплового излучения при горении проливов сжиженного природного газа // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 63–67.

Материал поступил в редакцию 26 сентября 2013 г.

English

## APPLICATION OF CONSTRUCTIONS BASED ON WATER-FILM SHIELDS FOR INCREASING OF THE FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF OBJECTS OF STORAGE AND DISTRIBUTION OF THE LIQUEFIED NATURAL GAS

SHIMKO V. Yu., General Director, ООО SpecPozhTekh (SpecPozhTekh, LLC)

(Malyy Sukharevskiy Lane, 9, off. 1, Moscow, 127051, Russian Federation; e-mail address: spth@mail.ru)

### ABSTRACT

The increased fire-and-explosion safety of objects of storage and distribution of the liquefied natural gas (LNG) is caused by number of its specific features. In emergency situations caused by depressurization of processing equipment the serious danger is represented by fire hazardous cloud which is often accompanied by explosions with destruction of process communications, devices, tanks and initiate formation of additional flow out places of gas and cascade development of emergency situation. The earlier offered methods and facilities of gas contamination control have a number of serious shortcomings and are not widely adopted. Results of researches of efficiency of application of constructions with water-film shields as a mean of gas contamination control in emergency situations are presented in given article.

In this article, devoted to research efficiency of application of heat-proofing water-film shields for weakening of powerful heat radiation from burning of LNG spills, it was determined that along with protection against external sources of thermal radiation the above mentioned constructions have gas-isolating ability. It allows assuming that on their basis it can be developed the unique devices combining the most important and necessary properties to solve successfully the problem of fire protection of LNG storages.

Experiments showed that in case of arson of the gas, evaporating in internal volume of the protective barrier, explosion not only does not bring to destruction of barrier, but also does not exert appreciable influence on it.

Thus, constructions based on water-film shields allow providing effective protection of tanks and processing equipment with LNG during the most dangerous emergency situations caused by flowing out of liquefied natural gas at the objects of its storage and distribution.

**Keywords:** liquefied natural gas; depressurization of processing equipment; passage of the liquefied gas; steam-gas cloud; water film.

### REFERENCES

1. Akatyev V. A., Safronov V. A., Sobolev G. P. *Ustroystvo dlya lokalizatsii avariiv na nazemnykh khranilishchakh vzryvopozharoопасnykh yadovitykh zhidkostey i gazov* [The device for localization of emergencies in above-ground storages of highly explosive fire hazardous toxic liquids and gases]. Patent SU, no. 1695949A1, 1991.
2. Simpson G. J., Kyud A. L. *The device for dispersion of highly explosive fire hazardous cloud of heavy gases forming as a result of leakage from above-ground tank*. Patent Great Britain, no. 843704, 1981.
3. Shimko V. Yu. *Ispolzovaniye vodoplenochnykh teplozashchitnykh ekranov dlya zashchity ot teplovogo izlucheniya pri gorenii prolivov szhizhennogo prirodnogo gaza* [Application of water-film heat-reflecting shields for protection against thermal radiation arising from burning spills of liquefied natural gas]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 63–67.

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

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

УДК 614.841.123.24

## ОЦЕНКА ФЛЕГМАТИЗИРУЮЩИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ГАЗОВЫХ ОГNETУШАЩИХ СОСТАВОВ

Рассмотрен механизм действия химически активных ингибиторов при использовании их для тушения углеводородов. Приведены огнетушащие составы на базе галоидуглеводородов, не оказывающих негативное влияние на озоновый слой Земли, и их огнетушащие концентрации. Показано, что механизм огнетушащего действия химически активных ингибиторов определяется химической структурой их молекул. Приведена цепочка превращений при получении хладона с различной степенью замещения атомов водорода в молекуле метана и этана. Показано, что для химически активных ингибиторов необходимо учитывать поглощение тепла, выделяющегося при горении, а также в процессе распада молекулы ингибитора. Приведены основные способы снижения температуры в зоне горения. Показано, что независимо от механизма действия газовых средств тушения результатом флегматизации должно быть понижение температуры горючей смеси до температуры потухания. Получена общая формула для расчета минимальной флегматизирующей концентрации флегматизатора. Приведены примеры расчета флегматизирующих концентраций газовых смесей при использовании для тушения пламени газозводушных смесей нейтральных газов.

**Ключевые слова:** газовые огнетушащие составы; нейтральный газ; химически активный ингибитор; хладон; флегматизирующая концентрация; температуры потухания.

Газовые огнетушащие составы (ГОС) условно делятся на нейтральные (негорючие) газы (НГ) и химически активные ингибиторы (ХАИ). К нейтральным газам относятся инертные газы аргон, гелий, а также азот и диоксид углерода (табл. 1). Последний может применяться в смеси с инертными газами.

К химически активным ингибиторам относятся органические фторсодержащие соединения, молекулы которых могут содержать атомы галогенов, например брома или хлора (табл. 2). Учитывая агрессивность бромсодержащих соединений в отношении озонового слоя Земли, эти вещества заменяют “альтернативными” хладонами, такими, например, как хладон 227ea (HFC-227ea, FM-200), гептафторпропан ( $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$ ) компании “DuPont” или фторированный кетон (Флуорокетон C-6, Фторкетон) ком-

пании “3M”, который построен на основе шестиуглеродной химической молекулы  $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$ .

Эти соединения имеют относительно высокую температуру кипения, что позволяет хранить их в баллонах с низким давлением. Они подаются в очаг горения в виде струй распыленной жидкости, капли которой быстро испаряются в зоне горения.

С учетом вновь возросшего интереса к хладонам — химически активным ингибиторам пламени рассмотрим механизм их действия при использовании для тушения пламени углеводородов.

Первым из группы “хладонов” для тушения пожаров был применен четыреххлористый углерод, которым заполнялись ручные огнетушители. Однако из-за высокой токсичности этого вещества дальнейшее использование его было запрещено. Не менее

**Таблица 1.** Нейтральные газы

| Наименование НГ  | Химическая формула         |
|------------------|----------------------------|
| Аргон            | Ar                         |
| Гелий            | He                         |
| Азот             | $\text{N}_2$               |
| Вода             | $\text{H}_2\text{O}$ (пар) |
| Диоксид углерода | $\text{CO}_2$              |

**Таблица 2.** Химически активные ингибиторы

| Наименование ХАИ         | Химическая формула                |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Четыреххлористый углерод | $\text{CCl}_4$                    |
| Бромметан                | $\text{CH}_3\text{Br}$            |
| Бромэтан                 | $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$   |
| Трифторбромметан         | $\text{CF}_3\text{Br}$            |
| Тетрафтордибромэтан      | $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$ |

**Таблица 3.** Огнетушащие составы на базе галоидуглеводородов, не оказывающих негативное влияние на озоновый слой Земли

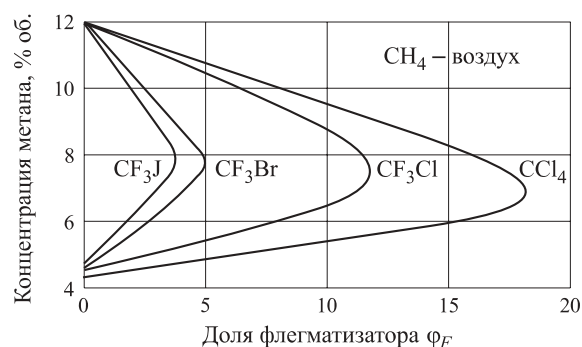
| Обозначение                      | Наименование, химический состав               | Химическая формула |
|----------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------|
| FC-3-1-10                        | Перфторбутан (Perfluorobutane)                | $C_4F_{10}$        |
| HBFC-22B1<br>HCFC (смесь А)      | Бромдифторметан (Bromodifluoromethane)        | $CHF_2Br$          |
|                                  | Дихлортрифторэтан (Dichlorotrifluoroethane)   | $CHCl_2CF_3$       |
| NAF S III (смесевая композиция): |                                               |                    |
| HCFC-123 (4,75 %)                | Хлордифторметан (Chlorodifluoromethane)       | $CHClF_2$          |
| HCFC-22 (82 %)                   | Хлортetraфторэтан (Chlorotetrafluoroethane)   | $C_2HClF_4$        |
| HCFC-124                         | Хлортetraфторметан (Chlorotetrafluoromethane) | $CHClCF_4$         |
| HFC-125                          | Пентафторэтан (Pentafluoroethane)             | $CHF_2CF_3$        |
| HFC 227                          | Гептафторпропан (Heptafluoropropane)          | $CF_3CH_2CF_3$     |
| HFC-23                           | Трифторметан (Trifluoromethane)               | $CHF_3$            |
| IG-541 (смесь газов)             | Азот (Nitrogen) (52 %)                        | $N_2$              |
|                                  | Аргон (Argon) (40 %)                          | Ar                 |
|                                  | Диоксид углерода (Carbon dioxide) (8 %)       | $CO_2$             |

токсичными оказались и хладоны 1001 (метилбромид) и 1011 (хлорбромметан), которые также не нашли широкого применения.

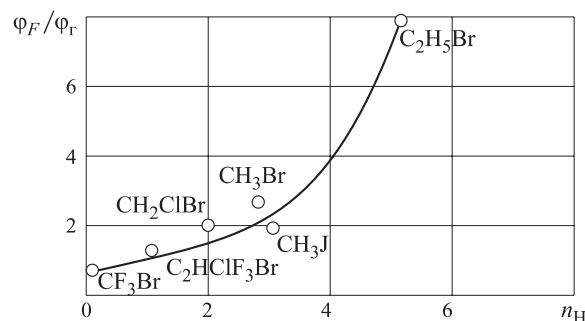
В отличие от названных выше хладонов соединения углерода с фтором и бромом в различных пропорциях оказались низкотоксичными. Наиболее широко применялись бромтрифторметан (хладон 1301) и бромхлордифторметан (хладон 1211), а также дибромтетрафторэтан (2402), но в связи с возможным негативным воздействием их на озоновый слой NFPA рекомендовал к применению галоидуглеводороды (табл. 3).

Хладоны — это общее название галогензамещенных углеводородов. Огнетушащая способность хладонов, как правило, тем выше, чем больше атомов брома, фтора и хлора в молекуле.

Огнетушащие концентрации перечисленных в табл. 3 составов находятся в пределах 4,6...4,8 % об. Наиболее эффективными являются хладоны 114B2 (тетрафтордибромэтан) и 13B1. Флегматизирующая концентрация этих газов для гексановоздушных смесей составляет соответственно 3,5 и 5,5 % об.



**Рис. 1.** Влияние природы хладагента на типичные флегматизирующие концентрации горючих газовых смесей



**Рис. 2.** Зависимость отношения оптимальной концентрации добавки хладагента  $\phi_F$  к концентрации гептана  $\phi_G$  при увеличении числа атомов водорода  $n_H$  в молекуле хладагента

**Таблица 4.** Физические свойства газовых огнетушащих составов

| Физическое свойство                                                                   | Обозначение соединения (молекулярная масса) |                    |                |                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------|----------------|------------------|
|                                                                                       | FC-3-1-10 (238,03)                          | HBFC-22B1 (130,92) | HCFC A (92,90) | HCFC-124 (136,5) |
| Температура кипения при 760 мм рт. ст., °C                                            | -2,0                                        | -15,5              | -38,3          | -11,0            |
| Температура замерзания, °C                                                            | -128,2                                      | -145               | < -107,2       | 198,9            |
| Удельная теплоемкость в жидком состоянии при 25 °C, кДж/(кг·K)                        | 1,047                                       | 0,813              | 1,256          | 1,13             |
| Удельная теплоемкость в парообразном состоянии при давлении 1 атм и 25 °C, кДж/(кг·K) | 0,804                                       | 0,455              | 0,67           | 0,741            |
| Теплота парообразования в точке кипения при 25 °C, кДж/кг                             | 96,3                                        | 172,0              | 225,6          | 194              |
| Теплопроводность в жидком состоянии при 25 °C, Вт/(м·K)                               | 0,0537                                      | 0,083              | 0,0900         | 0,0722           |
| Вязкость в жидком состоянии при 25 °C, Па·с                                           | 0,324                                       | 0,280              | 0,21           | 0,299            |
| Критическое давление при 25 °C, МПа                                                   | 289,6                                       | 431,3              | 948            | 386              |

Экспериментальные исследования показали влияние химического состава хладонов на флегматизирующую эффективность горючих газовых смесей. Некоторые результаты данных исследований представлены на рис. 1 и 2.

Физико-химические свойства данных соединений и смесевых композиций представлены в табл. 4.

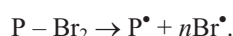
Широкое применение хладонов в закрытых помещениях ограничено из-за их токсичности. Хладон 114B2 обладает наименьшей токсичностью, но из-за предполагаемого негативного воздействия на озоновый слой Земли его применение сильно ограничено. Эффективность огнетушащего действия хладонов максимальна при их использовании в закрытых и ограниченных объемах.

Механизм огнетушащего действия химически активных ингибиторов определяется химической структурой их молекул, содержащих, как правило, несколько разнородных атомов, в том числе атомы галогенов — брома, фтора, хлора, иода и один или два атома углерода (возможно также наличие атомов водорода). Если за исходную химическую единицу взять метан или этан, то на их базе может существовать большой набор соединений, отличающихся низкой температурой кипения, невысокой теплотой парообразования и негорючестью.

Ниже показана цепочка превращений при получении хладона с различной степенью замещения атомов водорода в молекуле метана и этана.

В практике тушения пожаров длительное время использовались  $\text{CH}_3\text{Br}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$ ,  $\text{CF}_3\text{Br}$  и  $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$  и их смеси с диоксидом углерода. Огнетушащие концентрации (объемные) ХАИ в 5...10 раз ниже, чем у нейтральных газов. Это обусловлено, в первую очередь, их высокой молярной теплоемкостью и способностью молекул разлагаться в пламени при невысоких температурах (до 1000 К). При этом часть тепла реакции горения будет расходоваться на разогрев молекул ингибитора, вторая часть — поглощаться в процессе распада ингибитора, и лишь третья часть пойдет на разогрев собственно горючего и окислителя. Вследствие ингибирования реакции часть горючего не будет участвовать в горении, что приведет к снижению общего количества тепла, выделяющегося при горении.

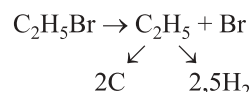
Для химически активных ингибиторов необходимо учитывать поглощение тепла, выделяющегося при горении, а также поглощение тепла в процессе распада молекулы ингибитора по реакции:



В этом процессе разрывается связь  $\text{C} - \text{Br}$ . Энергия разрыва этой связи  $E_{\text{C-Br}}$  достигает 238 кДж/моль. Соответственно, если в молекуле два атома брома,

то при распаде молекулы тепла будет поглощено вдвое больше — 2·238 кДж/моль и т. д.

Кроме разрыва связи  $\text{C} - \text{Br}$ , возможны химические превращения с остатком, если он неинертен. Например, молекула  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$  может претерпеть ряд превращений:



Каждое из превращений характеризуется тепловым эффектом, знак которого обуславливает снижение или увеличение общего количества тепла при горении.

Молекула  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}_2$  состоит из инертного фторуглеродного радикала, который не распадается в диапазоне температур до 1000 К, поэтому процесс ингибирования выражается в поглощении энергии  $Q_\phi$ , равной энергии разрыва двух связей  $\text{C} - \text{Br}$ , т. е.  $Q_\phi = 2 \cdot 238 = 467$  кДж/моль. При выводе расчетного соотношения для определения минимальной флегматизирующей концентрации флегматизатора (МФКФ) будем учитывать поглощение энергии  $Q_\phi$  при разрыве связи  $\text{C} - \text{Br}$ .

Исходя из теории прекращения горения, для тушения пламени достаточно снизить его температуру в зоне горения до 1000 °С, что равносильно поглощению 50 % тепла, выделяющегося при горении в единицу времени.

Тушение газовыми составами базируется на этой теории, хотя способы решения задачи снижения температуры пламени и уменьшения скорости тепловыделения в единичном объеме достигаются по-разному — в зависимости от химического строения и физических свойств молекул газа, используемого для тушения пожара.

Снижение температуры в зоне горения может быть достигнуто следующими способами:

- уменьшением концентрации горючего в объеме за счет разбавления смеси нейтральным газом;
- отводом части тепла от компонентов горючей смеси теплоемкими молекулами флегматизатора;
- поглощением тепла в процессе распада или диссоциации молекул ингибитора;
- предотвращением участия в горении части горючего за счет ингибирования цепной химической реакции (т. е. снижение эффективной концентрации горючего в смеси).

Если концентрация флегматизатора велика, то эффект разбавления горючей смеси становится заметным. Молекулы аргона и азота имеют молярные теплоемкости меньше, чем у газовой смеси, поэтому основное действие их при флегматизации — это разбавление смеси.

Независимо от механизма действия газовых средств тушения результатом флегматизации долж-

но быть понижение температуры горючей смеси до температуры потухания  $T_{\text{п}} = 1050$  К.

С учетом перечисленных механизмов действия газовых флегматизаторов суммарное выделение теплоты реакции

$$\Sigma \Delta H = \Delta H_{\text{г}} - \Delta H_{\text{ф}} - \Delta H_{\text{и.г}}, \quad (1)$$

где  $\Delta H_{\text{г}}$  — теплота сгорания горючей смеси, содержащей флегматизаторы;

$\Delta H_{\text{ф}}$  — теплота, поглощаемая при распаде флегматизатора;

$\Delta H_{\text{и.г}}$  — теплота, выделение которой предотвращено действием ХАИ на активные центры химической реакции.

Причем

$$\Delta H_{\text{г}} = Q_{\text{н}} \varphi_{\text{г}}^{\text{T}}; \quad (2)$$

$$\Delta H_{\text{ф}} = Q_{\text{ф}} \varphi_{\text{ф}}; \quad (3)$$

$$\Delta H_{\text{и.г}} = Q_{\text{н}} \varphi_{\text{г}}, \quad (4)$$

где  $Q_{\text{н}}$  — низшая теплота сгорания гептана;

$Q_{\text{ф}}$  — энергия, поглощаемая при сгорании флегматизатора;

$\varphi_{\text{г}}$  — концентрация гептана в смеси до начала реакции;

$\varphi_{\text{ф}}$  — концентрация флегматизатора в смеси;

$\varphi_{\text{г}}^{\text{T}}$  — концентрация гептана в объеме за счет разбавления смеси флегматизатором.

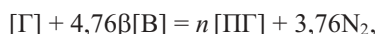
Средняя теплоемкость газовой смеси с флегматизатором  $C^*$  определяется по формуле

$$\begin{aligned} C^* &= C_{\text{г}} \varphi_{\text{г}}^{\text{O}} + C_{\text{в}} \varphi_{\text{в}}^{\text{T}} + C_{\text{ф}} \varphi_{\text{ф}} = \\ &= C^{\text{O}} (1 - \varphi_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}} \varphi_{\text{ф}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $C_{\text{г}}$ ,  $C_{\text{в}}$ ,  $C_{\text{ф}}$ ,  $C^{\text{O}}$  — молярные теплоемкости соответственно горючего, воздуха, флегматизатора и стехиометрической смеси, подлежащей флегматизации;

$\varphi_{\text{г}}^{\text{O}}$ ,  $\varphi_{\text{в}}^{\text{T}}$  — концентрации соответственно горючего и воздуха.

Для химической реакции горения, представленной в общем виде



получим частные соотношения между  $\varphi_{\text{г}}^{\text{T}}$  и  $\varphi_{\text{в}}^{\text{T}}$ :

$$\varphi_{\text{в}}^{\text{T}} = 4,76\beta \varphi_{\text{г}}^{\text{T}};$$

$$\varphi_{\text{г}}^{\text{T}} = (1 - \varphi_{\text{ф}})/(1 + 4,76\beta);$$

$$\varphi_{\text{в}}^{\text{T}} + \varphi_{\text{г}}^{\text{T}} = \varphi_{\text{г}}^{\text{T}} (1 + 4,76\beta),$$

где  $[\text{Г}]$ ,  $[\text{В}]$ ,  $[\text{ПГ}]$  — горючее, воздух, смесь горючего и воздуха соответственно.

Используя эти подстановки в основное уравнение (5), получим общую формулу для расчета МФКФ:

$$Q_{\text{н}} \varphi_{\text{г}}^{\text{T}} + Q_{\text{ф}} \varphi_{\text{ф}} = C^{\text{O}} (1 - \varphi_{\text{ф}}) + Q_{\text{ф}} \varphi_{\text{ф}}. \quad (6)$$

Если флегматизатор термически устойчив и не распадается в интервале температур до 1050 К, то значение  $Q_{\text{ф}}$  будет равно нулю, т. е.  $Q_{\text{ф}} = 0$ . Такой флегматизатор относится к категории нейтральных газов.

Важно отметить, что при горении стехиометрических смесей, которые содержат флегматизатор, процесс окисления горючего завершается образованием продукта неполного окисления — оксида углерода, а не диоксида, что имеет место в смесях без флегматизаторов. Аналогично протекает горение и в богатых смесях, где избыток горючего также играет роль ингибитора.

Следовательно, величину  $Q_{\text{н}}$  необходимо рассчитывать по закону Гесса, учитывая, что теплота образования  $[\text{CO}] = 110$  кДж/моль,  $[\text{H}_2\text{O}] = 242$  кДж/моль:

$$\begin{aligned} C_n \text{H}_{2n+2} + 4,76\beta[\text{В}] &= n\text{CO} + (n+1)\text{H}_2\text{O}; \\ Q_{\text{н}} &= 242(n+1) + 110n - 1; \quad \beta = (2n+1)/2. \end{aligned} \quad (7)$$

Проведем расчет флегматизирующих концентраций газовых смесей при использовании для тушения пламени газозооных смесей нейтральных газов. В этом случае  $Q_{\text{ф}} = 0$ , поэтому для расчета флегматизирующих концентраций воспользуемся упрощенным вариантом формулы:

$$\varphi_{\text{F}} = 100 \frac{Q_{\text{н}} / (4,76\beta + 1) - C^{\text{O}} T^*}{Q_{\text{н}} / (4,76\beta + 1) + (C_{\text{ф}} - C^{\text{O}}) T^*}, \quad (8)$$

где  $C_{\text{ф}}$  — теплоемкость флегматизатора;

$T^*$  — температура смеси.

Рассчитаем флегматизирующую концентрацию для  $\text{CO}_2$  по отношению к смеси метана с воздухом при  $Q_{\text{н}} = 519$  кДж/моль;  $C_{\text{p}(\text{CH}_4)}^{1000} = 59$  Дж/(моль·К);  $T^* = 1,2 \cdot 10^3$  К;  $C_{\text{p,в}} = 31$  Дж/моль;  $C^{\text{O}} = 0,125 \cdot 59 + 0,875 \cdot 31 = 34,4$  Дж/(моль·К);  $C_{\text{p}(\text{CO}_2)} = 48$  Дж/(моль·К);  $\alpha = 4,76\beta + 1 = 4,76 \cdot 1,5 + 1 = 8,14$ .

Учитывая, что при наличии флегматизатора горение идет с выходом  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , а не  $\text{CO}_2$ , как при горении бедных смесей, запишем уравнение химической реакции:



Тогда флегматизирующая концентрация для  $\text{CO}_2$

$$\varphi_{\text{F}} = 100 \frac{519/8,4 - 34,4 \cdot 1,20}{63,8 + (48 - 34,4) \cdot 1,20} = 28 \% \quad (10)$$

(по экспериментальным данным  $\varphi_{\text{CO}_2} = 27 \%$ ).

Аналогичный расчет проведем при использовании в качестве флегматизатора:

— паров воды с  $C_{\text{p}(\text{H}_2\text{O})}^{1000} = 38$  Дж/(моль·К);

— четыреххлористого углерода

с  $C_{\text{p}(\text{CCl}_4)}^{1000} = 100$  Дж/(моль·К);

— азота с  $C_{\text{p}(\text{N}_2)}^{1000} = 31$  Дж/(моль·К).

Получим:

$$\varphi_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{(63,8 - 41,3) \cdot 100}{63,8 + (38 - 34,4) \cdot 1,20} = \frac{22,5}{68,1} = 33 \%$$

(по экспериментальным данным  $\varphi_{\text{H}_2\text{O}} = 27 \dots 30 \%$ );

$$\varphi_{\text{CCl}_4} = \frac{(63,8 - 41,3) \cdot 100}{63,8 + (100 - 34,4) \cdot 1,20} = \frac{22,5}{142} = 15,8 \%$$

(по экспериментальным данным 16 %);

$$\varphi_{\text{N}_2} = \frac{(63,8 - 41,3) \cdot 100}{63,8 + (31 - 34,4) \cdot 1,20} = \frac{22,5}{59,8} = 37,5 \%$$

(по экспериментальным данным  $\varphi_{\text{N}_2} = 35 \dots 40 \%$ ).

Таким образом, расчет флегматизирующей концентрации нейтральных газов дает хорошее совпадение с ее экспериментальными значениями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М. : АН СССР, 1961. — 208 с.
2. Зельдович Я. Б., Баренблатт Г. И., Либрович В. Б., Махвиладзе Г. М. Математическая теория горения и взрыва. — М. : Наука, 1980. — 480 с.
3. Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. — М. : Химия, 1982. — 400 с.
4. Семенов П. Течение жидкости в тонких слоях // Журнал технической физики. — 1944. — Т. 14, № 7–8. — С. 427–437.
5. Фридрихсберг Д. А. Курс коллоидной химии. — Л. : Химия, 1974. — 352 с.

*Материал поступил в редакцию 5 сентября 2013 г.*

English

## PHLEGMATIZING CONCENTRATIONS OF GAS FIRE EXTINGUISHING COMPOUNDS

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

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

## ABSTRACT

The current article introduces conditional division of fire extinguishing compounds into inerting gases and reactive inhibitors. It considers the action mechanism of reactive inhibitors while being used in order to turn off hydrocarbons. It provides the examples of fire extinguishing halohydrocarbon compounds that do not have a negative effect onto the ozone layer of the Earth and provides their fire extinguishing concentrations. It shows that the fire extinguishing mechanism of reactive inhibitors is determined by the chemical structure of their molecules which contain, as a rule, several heterogeneous atoms including halogen ones — atoms of bromine, fluorine, chlorine, iodine and one or two atoms of carbon (presence of hydrogen atoms is possible). The author of the article describes a transformation chain while obtaining freon with a various fractional substitutionality of hydrogen atoms in molecules of methane and ethane. He demonstrates that dealing with reactive inhibitors one should take into account the absorption of the heat evolving during burning as well as in the process of molecular decomposition of inhibitors. In his article the author also describes the main ways of temperature reduction in a burning zone. It is shown that the temperature of combustible mixture will decrease to the extinction temperature regardless of the action mechanism of phlegmatizing gas fire extinguishers. There is derived a general formula of phlegmatizing concentration of a phlegmatizer.

In the article, there also given examples of calculation of phlegmatizing concentrations of gas mixtures if steam-and-gas mixtures of inerting gases are used for fire extinguishing.

**Keywords:** gas fire extinguishing compounds; inerting gas; reactive inhibitor; freon; phlegmatizing concentration; the extinction temperature.

## REFERENCES

1. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye goreniye zhidkostey* [Diffusion burning of liquids]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
2. Zel'dovich Ya. B., Barenblatt G. I., Librovich V. B., Makhviladze G. M. *Matematicheskaya teoriya goreniya i vzryva* [Mathematical theory of burning and explosion]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 480 p.
3. Frolov Yu. G. *Kurs kolloidnoy khimii. Poverkhnostnyye yavleniya i dispersnyye sistemy* [The course of dispersoidology. Surface phenomena and disperse systems]. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 400 p.
4. Semenov P. *Techeniye zhidkosti v tonkikh sloyakh* [The fluid flow in thin layers]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki — Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics*, 1944, vol. 14, no. 7–8, pp. 427–437.
5. Friedrichsberg D. A. *Kurs kolloidnoy khimii* [The course of dispersoidology]. Leningrad, Khimiya Publ., 1974. 352 p.



# Издательство «ПОЖНАУКА»

## Представляет книгу

### ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



В учебном пособии приведены классификация огнетушителей и конструкции основных их типов, средства тушения, используемые для зарядки огнетушителей, виды огнетушителей и правила их применения для ликвидации загораний различных веществ, рекомендации по расчету необходимого количества огнетушителей для разных объектов, по их размещению, хранению и техническому обслуживанию.

Рекомендации, содержащиеся в книге, разработаны на основе современных нормативных документов, регламентирующих конструкцию, условия применения, правила эксплуатации и технического обслуживания огнетушителей.

Учебное пособие рассчитано на широкий круг читателей: инженерно-технических работников предприятий и организаций, ответственных за оснащение объектов огнетушителями, поддержание их в работоспособном состоянии и своевременную перезарядку; преподавателей курсов пожарно-технического минимума и дисциплины «Основы безопасности жизнедеятельности» в средних и высших учебных заведениях; частных лиц, выбирающих огнетушитель для обеспечения безопасности квартиры, дачи или автомобиля.

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

**Д. Ф. КОЖЕВИН**, канд. техн. наук, заместитель начальника кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: Yagmort-KDF@mail.ru)

**А. С. ПОЛЯКОВ**, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры физики и теплотехники Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: poljakov\_as@mail.ru)

**М. Р. СЫТДЫКОВ**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: maxim0205@mail.ru)

УДК 622.69

## О ПРАКТИКЕ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПЕРЕНОСНЫХ ПОРОШКОВЫХ ОГнетушителей (Аналитический обзор)

Приведены результаты оценки огнетушащей способности переносных порошковых огнетушителей ряда отечественных и зарубежных производителей. Рассмотрены методики определения их огнетушащей способности. Аргументирована необходимость перехода на параметризацию огнетушителей по огнетушащей способности, определяемой единым показателем для пожаров классов А и В, вместо принятой в настоящее время параметризации по массе заряда.

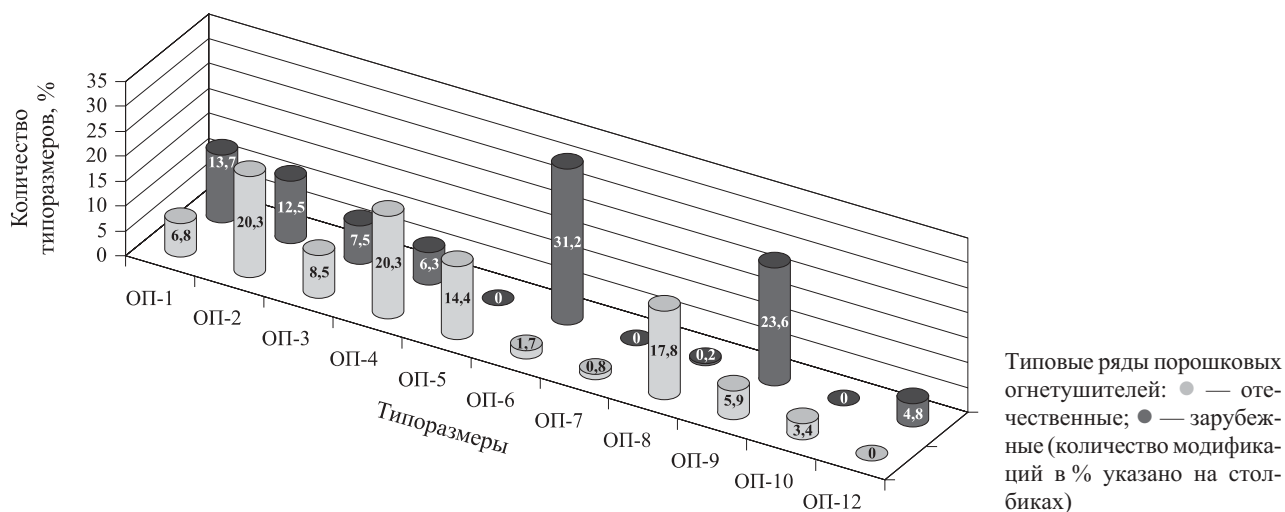
**Ключевые слова:** огнетушитель; технические параметры; параметризация; модельный очаг пожара; типоразмер; огнетушащая способность.

Отечественной и зарубежной промышленностью выпускаются переносные порошковые огнетушители с огнетушащей способностью, характеризующейся классом (А — твердые горючие материалы, В — легко воспламеняющиеся и горючие жидкости) и рангом (1А; 13В и т. д.) модельного очага пожара (МОП).

Обобщенные сведения об огнетушащей способности огнетушителей, полученные из различных источников [1–4], представлены в табл. 1. Как видно из табл. 1, зарубежные аналоги соответствуют

российским порошковым огнетушителям по массе заряда огнетушащего вещества (ОВТ).

Ситуация, сложившаяся с типизацией огнетушителей, для наглядности представлена на рисунке (по данным табл. 1). Из рисунка видно (передний план), что в России и странах СНГ чаще всего применяют огнетушители типоразмеров ОП-2, ОП-4, ОП-5 и ОП-8, при этом количество модификаций в типовых рядах огнетушителей существенно различается. В зарубежной практике наибольшее рас-



**Таблица 1.** Обобщенные сведения об отечественных и зарубежных переносных порошковых огнетушителях [1–4]

| №<br>п/п | Отечественные<br>огнетушители |                                     |                        | Зарубежные<br>огнетушители |                                     |                        |
|----------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------------|------------------------|
|          | Типо-<br>размер               | Коли-<br>чество<br>модифи-<br>каций | Класс<br>и ранг<br>МОП | Типо-<br>размер            | Коли-<br>чество<br>модифи-<br>каций | Класс<br>и ранг<br>МОП |
| 1        | ОП-1                          | 6                                   | 0,5А;<br>13В           | Аналоги<br>ОП-1            | 2                                   | 8А; 21В                |
|          |                               |                                     |                        |                            | 22                                  | 5А; 34В                |
|          |                               |                                     |                        |                            | 16                                  | 8А; 34В                |
|          |                               | 2                                   | 1А; 13В                |                            | 19                                  | 5А; 21В                |
|          |                               |                                     |                        |                            | 8                                   | 5А; 55В                |
|          |                               |                                     |                        |                            | 2                                   | 8А; 55В                |
| 2        | ОП-2                          | 13                                  | 0,7А;<br>21В           | Аналоги<br>ОП-2            | 7                                   | 8А; 55В                |
|          |                               |                                     |                        |                            | 36                                  | 13А; 89В               |
|          |                               |                                     |                        |                            | 1                                   | 8А; 70В                |
|          |                               |                                     |                        |                            | 4                                   | 8А; 89В                |
|          |                               | 10                                  | 1А; 21В                |                            | 5                                   | 13А; 70В               |
|          |                               |                                     |                        |                            | 8                                   | 8А; 34В                |
|          |                               | 1                                   | 1А; 34В                |                            | 2                                   | 13А; 55В               |
|          |                               |                                     |                        |                            |                                     |                        |
| 3        | ОП-3                          | 9                                   | 1А; 34В                | Аналоги<br>ОП-3            | 11                                  | 13А; 89В               |
|          |                               |                                     |                        |                            | 5                                   | 13А; 113В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 2                                   | 21А; 113В              |
|          |                               | 1                                   | 2А; 55В                |                            | 19                                  | 13А; 55В               |
|          |                               |                                     |                        |                            | 1                                   | 21А; 89В               |
| 4        | ОП-4                          | 24                                  | 2А; 55В                | Аналоги<br>ОП-4            | 5                                   | 21А; 113В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 12                                  | 13А; 113В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 1                                   | 13А; 144В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 1                                   | 13А; 89В               |
|          |                               |                                     |                        |                            | 4                                   | 27А; 144В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 5                                   | 27А; 183В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 2                                   | 13А; 70В               |
|          |                               |                                     |                        |                            | 2                                   | 21А; 144В              |
| 5        | ОП-5                          | 1                                   | 2А; 89В                | Аналог<br>ОП-5             | 1                                   | 3А; 89В                |
|          |                               | 12                                  | 2А; 70В                |                            |                                     |                        |
|          |                               | 4                                   | 3А; 89В                |                            |                                     |                        |
| 6        | ОП-6                          | 2                                   | 3А; 89В                | Аналоги<br>ОП-6            | 41                                  | 21А; 113В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 3                                   | 27А; 144В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 11                                  | 34А; 183В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 29                                  | 27А; 183В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 14                                  | 34А; 233В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 10                                  | 43А; 233В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 33                                  | 21А; 183В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 11                                  | 27А; 233В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 2                                   | 55А; 233В              |
|          |                               |                                     |                        |                            | 2                                   | 34А; 144В              |
|          | 1                             | 21А; 144В                           |                        |                            |                                     |                        |

Окончание табл. 1

| №<br>п/п | Отечественные<br>огнетушители |                                     |                        | Зарубежные<br>огнетушители                       |                                     |                        |
|----------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
|          | Типо-<br>размер               | Коли-<br>чество<br>модифи-<br>каций | Класс<br>и ранг<br>МОП | Типо-<br>размер                                  | Коли-<br>чество<br>модифи-<br>каций | Класс<br>и ранг<br>МОП |
| 7        | ОП-7                          | 1                                   | 4А; 144В               | Аналоги<br>ОП-7                                  | —                                   | —                      |
| 8        | ОП-8                          | 21                                  | 4А; 144В               | Аналог<br>ОП-8                                   | 1                                   | 4А; 144В               |
| 9        | ОП-9                          | 7                                   | 4А; 144В               | Аналоги<br>ОП-9                                  | 32                                  | 43А; 233В              |
|          |                               |                                     |                        |                                                  | 10                                  | 55А; 233В              |
|          |                               |                                     |                        |                                                  | 23                                  | 27А; 233В              |
|          |                               |                                     |                        |                                                  | 30                                  | 34А; 233В              |
|          |                               |                                     |                        |                                                  | 1                                   | 5А; 144В               |
|          |                               |                                     |                        |                                                  | 3                                   | 27А; 144В              |
|          |                               |                                     |                        |                                                  | 17                                  | 34А; 144В              |
|          |                               |                                     |                        |                                                  | 2                                   | 34А; 183В              |
|          |                               |                                     |                        |                                                  | 1                                   | 43А; 183В              |
| 10       | ОП-10                         | 4                                   | 4А; 144В               | Аналоги<br>ОП-10                                 | —                                   | —                      |
| 11       | В России аналогов нет         |                                     |                        | Огнету-<br>шитель<br>с массой<br>заряда<br>12 кг | 15                                  | 55А; 233В              |
|          |                               |                                     |                        |                                                  | 9                                   | 43А; 233В              |

пространение получили аналоги наших огнетушителей ОП-1, ОП-2, ОП-6 и ОП-9 (см. рисунок, второй план).

Причины этих отклонений трудно объяснимы, поэтому о них можно судить лишь косвенно (например, о наличии производственных возможностей, о несоответствии норм и правил оснащения объектов защиты огнетушителями в разных странах и т. п.).

Из приведенных данных (см. табл. 1 и рисунок) следует, что связь между параметрами огнетушителей для пожаров классов А и В отсутствует не только в пределах одного типоразмера огнетушителя, но и между разными типами. На это указывают, например, следующие факты:

- отечественные огнетушители типоразмера ОП-1 (8 модификаций) имеют одинаковый ранг в классе В (13В), но разные ранги в классе А (0,5А и 1А). У зарубежных аналогов ОП-1 картина аналогична: из 38 модификаций ранга 34В 22 модификации имеют ранг 5А и 16 — ранг 8А;
- отечественные огнетушители типоразмеров ОП-7, ОП-8, ОП-9 и ОП-10 имеют одинаковые ранги (4А; 144В), хотя их заряды отличаются по массе, что ставит под сомнение потребность в типоразмерах ОП-8, ОП-9 и ОП-10 (даже без учета их большей стоимости);

- отечественный огнетушитель типоразмера ОП-8 (21 модификация) и его зарубежный аналог (1 модификация) имеют одинаковые характеристики (4А; 144В), что указывает на их полную идентичность;
- зарубежные аналоги ОП-9 (21 модификация) имеют ранг 144В и совершенно несопоставимые ранги 5А (1 модификация), 27А и 34А (20 модификаций).

Можно привести и другие примеры отсутствия системности в классификации огнетушителей, из которых видно следующее:

- огнетушащая способность отдельных типоразмеров отечественных огнетушителей в некоторых случаях значительно уступает соответствующим зарубежным аналогам. Это может быть объяснено применением в зарубежных огнетушителях инертной смеси азота с гелием в качестве рабочего газа, а в отечественных — воздуха (содержащего окислитель — кислород, усиливающий горение);
- масса заряда и огнетушащая способность отечественных и зарубежных образцов огнетушителей имеют слабую взаимосвязь, поэтому требования нормативных документов по комплектованию огнетушителями помещений, зданий и автотранспортных средств исходя из массы заряда огнетушащего порошкового состава (ОПС) являются некорректными [5–11].

В связи с отмеченными обстоятельствами проведена оценка соответствия существующей рядности огнетушителей (по массе заряда ОПС) и огнетушащей способности требованиям оптимизации [12], результаты которой приведены ниже.

Согласно требованиям [12] при выборе характеристик объекта стандартизации и его параметрических рядов прежде всего решается вопрос о мерности последних.

Обоснованный выбор номенклатуры параметров для построения параметрических рядов огнетушителей имеет весьма важное значение для создания оптимального набора изделий одного функционального назначения по большинству их компонентов, включая параметры изделий в целом и их комплектующих.

Оптимизация ряда должна обеспечивать получение наилучших результатов и для изготовителя, и для потребителя продукции.

Мерность рядов выполняется исходя из известного положения, что предпочтительные числа основного ряда получают из закона геометрической прогрессии,  $i$ -й член которой согласно [12]

$$g_i = \pm 10^{i/R}, \quad (1)$$

где  $g_i$  — численное значение ряда;

$i$  — член прогрессии, принимающий значения от 0 до  $R$ ;

$R$  — число членов прогрессии в одном десятичном интервале.

При необходимости параметризация может быть осуществлена по специальным рядам предпочтительных чисел, например для  $i$ -го члена ряда, определяющего размеры на основе “золотого сечения”:

$$f_i = a/1,618^i, \quad (2)$$

где  $f_i$  — значение размера  $i$ -го члена ряда;

$a$  — линейный размер.

Результаты оценки рядности огнетушителей по массе представлены в табл. 2.

Данные табл. 2 (поз. 3, 6, 7 и 9) показывают, что типизация порошковых огнетушителей по массе заряда недостаточно хорошо согласуется с общепринятыми научно обоснованными требованиями [12]. Причина этих отступлений может быть объяснена только производственными возможностями произ-

**Таблица 2.** Соответствие типоразмеров огнетушителей по массе заряда ОПС теоретическому ряду R10 предпочтительных чисел

| № п/п | Типоразмер согласно [12] | Фактический типоразмер огнетушителей |             |
|-------|--------------------------|--------------------------------------|-------------|
|       |                          | отечественных                        | зарубежных  |
| 1     | 1,00                     | ОП-1                                 | Аналог ОП-1 |
| 2     | 2,00                     | ОП-2                                 | Аналог ОП-2 |
| 3     | —                        | ОП-3                                 | Аналог ОП-3 |
| 4     | 4,00                     | ОП-4                                 | Аналог ОП-4 |
| 5     | 5,00                     | ОП-5                                 | Аналог ОП-5 |
| 6     | —                        | ОП-6                                 | Аналог ОП-6 |
| 7     | —                        | ОП-7                                 | Аналог ОП-7 |
| 8     | 8,00                     | ОП-8                                 | Аналог ОП-8 |
| 9     | —                        | ОП-9                                 | Аналог ОП-9 |
| 10    | 10,0                     | ОП-10                                | —           |

**Таблица 3.** Характеристики модельных очагов пожара класса А [13, 14]

| № п/п | Ранг и класс пожара | Длина бруска, мм | Количество |                | Суммарная площадь поверхности брусков, м <sup>2</sup> |
|-------|---------------------|------------------|------------|----------------|-------------------------------------------------------|
|       |                     |                  | слоев      | брусков в слое |                                                       |
| 1     | 1А                  | 500              | 12         | 6              | 4,70                                                  |
| 2     | 2А                  | 635              | 16         | 7              | 9,36                                                  |
| 3     | 3А                  | 735              | 18         | 8              | 13,89                                                 |
| 4     | 4А                  | 800              | 20         | 9              | 18,66                                                 |
| 5     | 6А                  | 925              | 23         | 10             | 27,70                                                 |
| 6     | 10А                 | 1100             | 27         | 12             | 46,04                                                 |
| 7     | 15А                 | 1190             | 30         | 15             | 66,19                                                 |
| 8     | 20А                 | 1270             | 33         | 17             | 86,14                                                 |

**Таблица 4.** Характеристики модельных очагов пожара класса А [15]

| № п/п | Ранг и класс пожара | Длина брусков, мм |         | Количество |                | Суммарная площадь поверхности брусков, м <sup>2</sup> |
|-------|---------------------|-------------------|---------|------------|----------------|-------------------------------------------------------|
|       |                     | коротких          | длинных | слоев      | брусков в слое |                                                       |
| 1     | 3А                  | 300               | 500     | 14         | 3              | 2,91                                                  |
| 2     | 5А                  | 500               | 500     | 14         | 5              | 4,77                                                  |
| 3     | 8А                  | 500               | 800     | 14         | 8              | 7,56                                                  |
| 4     | 13А                 | 500               | 1300    | 14         | 13             | 12,22                                                 |
| 5     | 21А                 | 500               | 2100    | 14         | 21             | 19,76                                                 |
| 6     | 27А                 | 500               | 2700    | 14         | 27             | 25,26                                                 |
| 7     | 34А                 | 500               | 3400    | 14         | 34             | 31,78                                                 |
| 8     | 43А                 | 500               | 4300    | 14         | 43             | 40,16                                                 |
| 9     | 55А                 | 500               | 5500    | 14         | 55             | 51,34                                                 |

водителя и наличием покупательского спроса (в условиях отсутствия регулирования производства огнетушителей со стороны государства).

Из данных табл. 1 следует, что для типизации огнетушителей наиболее показательной характеристикой является огнетушащая способность, характеризующаяся площадью модельного очага пожара соответствующего класса и ранга.

Вид и характеристики модельных очагов, определяемые по [13, 14], указаны в табл. 3–5 для классов А и В.

Кроме ГОСТов и ISO, номенклатура модельных очагов пожара представлена в Европейских стандартах (ЕН). Характеристики МОП по [15] приведены в табл. 4.

**Таблица 5.** Характеристики модельных очагов пожара класса В [13–15]

| № п/п | Ранг МОП | Исполнение I/Исполнение II  |           |                           |
|-------|----------|-----------------------------|-----------|---------------------------|
|       |          | Количество, дм <sup>3</sup> |           | Высота борта противня, мм |
|       |          | воды                        | горючего  |                           |
| 1     | 1В       | 0,3/2                       | 0,7/1     | 100±5/200±5               |
| 2     | 2В       | 0,7/4                       | 1,3/2     | 100±5/200±5               |
| 3     | 3В       | 1,0/6                       | 2,0/3     | 100±5/200±5               |
| 4     | 5В       | 1,5/10                      | 3,5/5     | 100±5/200±5               |
| 5     | 8В       | 3,0/16                      | 5,0/8     | 150±5/230±5               |
| 6     | 13В      | 4,0/26                      | 9,0/13    | 150±5/230±5               |
| 7     | 21В      | 7,0/42                      | 14,0/21   | 150±5/230±5               |
| 8     | 34В      | 11,0/68                     | 23,0/34   | 150±5/230±5               |
| 9     | 55В      | 18,0/110                    | 37,0/55   | 150±5/230±5               |
| 10    | 70В      | 23,0/140                    | 47,0/70   | 150±5/230±5               |
| 11    | 89В      | 30,0/178                    | 59,0/89   | 200±5/230±5               |
| 12    | 113В     | 38,0/226                    | 75,0/113  | 200±5/230±5               |
| 13    | 144В     | 48,0/288                    | 96,0/144  | 200±5/230±5               |
| 14    | 183В     | 61,0/366                    | 122,0/183 | 200±5/230±5               |
| 15    | 233В     | 78,0/466                    | 155,0/233 | 200±5/230±5               |

Характеристики модельных очагов пожара класса В [13–15], реализуемых в двух исполнениях (I и II), представлены в табл. 5.

В исполнении I модельного очага пожара класса В число в обозначении ранга модельного очага совпадает с общим количеством жидкости в резервуаре (1/3 воды и 2/3 бензина) и увеличивается по пра-

**Таблица 6.** Соответствие ряда модельных очагов пожара класса В в исполнении II рядом предпочтительных чисел\* [12]

| № п/п | Основные ряды |     |     |     | Ряд “золотое сечение” | По ГОСТ Р 51017–2001/По ISO 7165 |             |            |                         |
|-------|---------------|-----|-----|-----|-----------------------|----------------------------------|-------------|------------|-------------------------|
|       | R5            | R10 | R20 | R40 |                       | Ранг и класс МОП                 | Объем ГЖ, л | Диаметр, м | Площадь, м <sup>2</sup> |
| 1     |               |     |     | 1   | 1                     | 1В/–                             | 1/–         | 0,2/–      | 0,03/–                  |
| 2     | –             | 2   | 2   | 2   | 2                     | 2В/–                             | 2/–         | 0,3/–      | 0,07/–                  |
| 3     | –             | –   | –   | 3   | 3                     | 3В/–                             | 3/–         | 0,35/–     | 0,1/–                   |
| 4     | 4             | 4   | 4   | 4   | 5                     | 5В/–                             | 5/–         | 0,45/–     | 0,16/–                  |
| 5     | –             | 5   | 5   | 5   | 8                     | 8В/8В                            | 8/8         | 0,6/0,6    | 0,28/0,28               |
| 6     | –             | –   | –   | 6   | 13                    | 13В/13В                          | 13/13       | 0,7/0,7    | 0,40/0,40               |
| 7     | –             | –   | –   | –   | 21                    | 21В/21В                          | 21/21       | 0,9/0,9    | 0,65/0,65               |
| 8     | –             | 8   | 8   | 8   | 34                    | 34В/34В                          | 34/34       | 1,2/1,2    | 1,10/1,10               |
| 9     | –             | –   | 9   | 9   | 56 (55)               | 55В/55В                          | 55/55       | 1,5/1,5    | 1,75/1,75               |
| 10    | 10            | 10  | 10  | 10  | –                     | 70В/70В                          | 70/70       | 1,7/1,7    | 2,25/2,25               |
| 11    | –             | –   | –   | –   | 90 (89)               | 89В/89В                          | 89/89       | 1,9/1,9    | 2,80/2,80               |
| 12    | –             | –   | –   | –   | –                     | 113В/113В                        | 113/113     | 2,15/2,15  | 3,60/3,60               |
| 13    | –             | –   | –   | –   | 146 (144)             | 144В/144В                        | 144/144     | 2,4/2,4    | 4,50/4,50               |
| 14    | –             | –   | –   | –   | –                     | 183В/183В                        | 183/183     | 2,7/2,7    | 5,75/5,75               |
| 15    | –             | –   | –   | –   | 236 (233)             | 233В/233В                        | 233/233     | 3,0/3,0    | 7,10/7,10               |

\* Без учета дробных значений.

**Таблица 7.** Соответствие ряда модельных очагов пожара класса А по [13, 14] ряду предпочтительных чисел\* [12]

| № п/п                     | Основные ряды |      |      |      | Ряд<br>“золотое<br>сечение” | Ранг<br>и класс<br>МОП | Длина<br>бруска,<br>мм | Количество |                | Суммарная<br>площадь<br>поверхности<br>брусков, м <sup>2</sup> |
|---------------------------|---------------|------|------|------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------|----------------|----------------------------------------------------------------|
|                           | R5            | R10  | R20  | R40  |                             |                        |                        | слоев      | брусков в слое |                                                                |
| 1                         | 1             | 1    | 1    | 1    | 1                           | 1А                     | 500                    | 12         | 6              | 4,70                                                           |
| 2                         | —             | 2    | 2    | 2    | 2                           | 2А                     | 635                    | 16         | 7              | 9,36                                                           |
| 3                         | —             | —    | —    | 3    | 3                           | 3А                     | 735                    | 18         | 8              | 13,89                                                          |
| 4                         | 4             | 4    | 4    | 4    | —                           | 4А                     | 800                    | 20         | 9              | 18,66                                                          |
| 5                         | —             | 5    | 5    | 5    | 5                           | —                      | —                      | —          | —              | —                                                              |
| 6                         | —             | —    | —    | 6    | —                           | 6А                     | 925                    | 23         | 10             | 27,70                                                          |
| 7                         | —             | 8    | 8    | 8    | 8                           | —                      | —                      | —          | —              | —                                                              |
| 8                         | —             | —    | 9    | 9    | —                           | —                      | —                      | —          | —              | —                                                              |
| 9                         | 10            | 10   | 10   | 10   | —                           | 10А                    | 1100                   | 27         | 12             | 46,04                                                          |
| 10                        | —             | —    | —    | —    | 13                          | —                      | —                      | —          | —              | —                                                              |
| 11                        | —             | —    | 14   | 14   | —                           | —                      | —                      | —          | —              | —                                                              |
| 12                        | —             | —    | —    | 15   | —                           | 15А                    | 1190                   | 30         | 15             | 66,19                                                          |
| 13                        | 16            | 16   | 16   | 16   | —                           | —                      | —                      | —          | —              | —                                                              |
| 14                        | —             | —    | —    | 17   | —                           | —                      | —                      | —          | —              | —                                                              |
| 15                        | —             | —    | 18   | 18   | —                           | —                      | —                      | —          | —              | —                                                              |
| 16                        | —             | —    | —    | 19   | —                           | —                      | —                      | —          | —              | —                                                              |
| 17                        | —             | 20   | 20   | 20   | —                           | 20А                    | 1270                   | 33         | 17             | 86,14                                                          |
| Знаменатель<br>прогрессии | 1,6           | 1,25 | 1,12 | 1,06 | —                           | 1,55                   | 1,14                   | 1,16       | 1,16           | 1,53                                                           |

\* Без учета дробных значений.

**Таблица 8.** Соответствие ряда модельных очагов пожара класса А по [15] ряду предпочтительных чисел\* [12]

| № п/п | Основные ряды |     |     |     | Ряд<br>“золотое<br>сечение” | Ранг<br>и класс<br>пожара | Длина брусков, мм |         | Количество |                | Суммарная<br>площадь по-<br>верхности<br>брусков, м <sup>2</sup> |
|-------|---------------|-----|-----|-----|-----------------------------|---------------------------|-------------------|---------|------------|----------------|------------------------------------------------------------------|
|       | R5            | R10 | R20 | R40 |                             |                           | коротких          | длинных | слоев      | брусков в слое |                                                                  |
| 1     | 1             | 1   | 1   | 1   | 1                           | —                         | —                 | —       | 14         | 6              | 4,70                                                             |
| 2     | —             | 2   | 2   | 2   | 2                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 3     | —             | —   | —   | 3   | 3                           | 3А                        | 300               | 500     | 14         | 3              | 2,91                                                             |
| 4     | 4             | 4   | 4   | 4   | —                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 5     | —             | 5   | 5   | 5   | 5                           | 5А                        | 500               | 500     | 14         | 5              | 4,77                                                             |
| 6     | —             | —   | —   | 6   | —                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 7     | —             | 8   | 8   | 8   | 8                           | 8А                        | 500               | 800     | 14         | 8              | 7,56                                                             |
| 8     | —             | —   | 9   | 9   | —                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 9     | 10            | 10  | 10  | 10  | —                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 10    | —             | —   | —   | —   | 13                          | 13А                       | 500               | 1300    | 14         | 13             | 12,22                                                            |
| 11    | —             | —   | 14  | 14  | —                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 12    | —             | —   | —   | 15  | —                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 13    | 16            | 16  | 16  | 16  | —                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 14    | —             | —   | —   | 17  | —                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 15    | —             | —   | 18  | 18  | —                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 16    | —             | —   | —   | 19  | —                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 17    | —             | 20  | 20  | 20  | —                           | —                         | —                 | —       | —          | —              | —                                                                |
| 18    | —             | —   | —   | —   | 21                          | 21А                       | 500               | 2100    | 14         | 21             | 19,76                                                            |
| 19    | —             | —   | —   | —   | —                           | 27А                       | 500               | 2700    | 14         | 27             | 25,26                                                            |
| 20    | —             | —   | —   | —   | 34                          | 34А                       | 500               | 3400    | 14         | 34             | 31,78                                                            |
| 21    | —             | —   | —   | —   | —                           | 43А                       | 500               | 4300    | 14         | 43             | 40,16                                                            |
| 22    | —             | —   | —   | —   | 56 (55)                     | 55А                       | 500               | 5500    | 14         | 55             | 51,34                                                            |

\* Без учета дробных значений.

**Таблица 9.** Соответствие ряда модельных очагов пожара классов А и В и соотношение их площадей

| №<br>п/п         | Типоразмер<br>огне-<br>тушителя | Отечественные огнетушители |                                |              |                                | Зарубежные огнетушители |                                |              |                                | Отношение площа-<br>дей МОП (А/В) для<br>огнетушителей |                 |
|------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------|
|                  |                                 | Класс А                    |                                | Класс В      |                                | Класс А                 |                                | Класс В      |                                |                                                        |                 |
|                  |                                 | Ранг<br>МОП,               | Площадь<br>МОП, м <sup>2</sup> | Ранг<br>МОП, | Площадь<br>МОП, м <sup>2</sup> | Ранг<br>МОП,            | Площадь<br>МОП, м <sup>2</sup> | Ранг<br>МОП, | Площадь<br>МОП, м <sup>2</sup> | отечест-<br>венных                                     | зару-<br>бежных |
| 1                | ОП-1                            | 1                          | 4,7                            | 13           | 0,40                           | 5*                      | 4,77                           | 34           | 1,1                            | 11,75                                                  | 4,34            |
| 2                | ОП-2                            | 1                          | 4,7                            | 21           | 0,65                           | 13*                     | 12,22                          | 89           | 2,8                            | 7,23                                                   | 4,36            |
| 3                | ОП-3                            | 1                          | 4,7                            | 34           | 1,1                            | 13*                     | 12,22                          | 55           | 1,75                           | 4,27                                                   | 6,98            |
| 4                | ОП-4                            | 2                          | 9,36                           | 55           | 1,75                           | 13*                     | 12,22                          | 113          | 3,6                            | 5,35                                                   | 3,39            |
| 5                | ОП-5                            | 2                          | 9,36                           | 70           | 2,25                           | 3                       | 13,89                          | 55           | 1,75                           | 4,16                                                   | 7,94            |
| 6                | ОП-6                            | 3                          | 13,89                          | 89           | 2,8                            | 21*                     | 19,76                          | 113          | 3,6                            | 4,96                                                   | 5,49            |
| 7                | ОП-7                            | 4                          | 18,66                          | 144          | 4,5                            | —                       | —                              | —            | —                              | 4,15                                                   | —               |
| 8                | ОП-8                            | 4                          | 18,66                          | 144          | 4,5                            | 4                       | 18,66                          | 144          | 4,5                            | 4,15                                                   | 4,15            |
| 9                | ОП-9                            | 4                          | 18,66                          | 144          | 4,5                            | 43*                     | 40,16                          | 233          | 7,1                            | 4,15                                                   | 5,66            |
| 10               | ОП-10                           | 4                          | 18,66                          | 144          | 4,5                            | —                       | —                              | —            | —                              | 4,15                                                   | —               |
| 11               | ОП-12                           | —                          | —                              | —            | —                              | 55*                     | 51,34                          | 233          | 7,1                            | —                                                      | 7,23            |
| Среднее значение |                                 | —                          | —                              | —            | —                              | —                       | —                              | —            | —                              | 5,43                                                   | 5,50            |

\* Модельный очаг пожара по ЕН.

\* Модельный очаг пожара по ЕН.

вилу “золотого сечения” пропорционально площади резервуара, а в исполнении II — количеству бензина.

Результаты оценки рядности огнетушащей способности по характеристикам модельных очагов пожара представлены в табл. 6–8.

Как видно из табл. 6 (поз. 3, 6, 7, 9, 11–15), характеристики модельных очагов пожара класса В не соответствуют основным рядам предпочтительных чисел [12] как по рангу (объем горючего вещества), так и по площади (диаметр резервуара) пожара. Они соответствуют специальному ряду “золотое сечение”, обычно применяемому для двухмерных строительных конструкций (типа окон и дверей). В правиле “золотого сечения” отношение большей части величины к ее меньшей выражается квадратичной иррациональностью, определяющей оптимальное соотношение между длиной (в нашем случае диаметр резервуара  $D$ ) и шириной (высота слоя жидкости  $H$ ).

Поскольку порошковые огнетушители применяются и для тушения пожаров класса А, была проведена проверка модельных очагов класса А на соответствие правилам параметризации (см. табл. 7 и 8).

Данные табл. 7 показывают, что параметрический ряд модельных очагов пожара класса А по [13, 14] не подходит ни под один из рядов предпочтительных чисел, хотя общая закономерность в выборе принципа дифференциации модельных очагов пожаров классов А и В ясна — это площадь горения. Однако тогда возникает вопрос: почему модельных очагов пожара класса А всего 8, а класса В — 15 и есть ли между ними корреляция?

Параметризация модельных очагов пожара класса А, регламентируемых [15], соответствует специ-

альному ряду предпочтительных чисел “золотое сечение”. В связи с этим в табл. 9 представлены данные по соотношению характеристик модельных очагов пожара классов А и В, применяемых при испытаниях наиболее распространенных отечественных и зарубежных огнетушителей.

Результаты сравнения площадей модельных очагов пожара классов А и В показывают, что сред-

**Таблица 10.** Соответствие ряда модельных очагов пожара классов А и В и выделяемых ими теплот

| №<br>п/п | Типо-<br>размер<br>огнету-<br>шителя | Ранг МОП<br>для огнетушителей |     |                 |     | Значения теплоты,<br>выделяемой МОП<br>для огнетушителей |      |            |      |
|----------|--------------------------------------|-------------------------------|-----|-----------------|-----|----------------------------------------------------------|------|------------|------|
|          |                                      | отечест-<br>венных            |     | зарубеж-<br>ных |     |                                                          |      |            |      |
|          |                                      | Класс МОП                     |     |                 |     | отечест-<br>венных                                       |      | зарубежных |      |
|          |                                      | А                             | В   | А               | В   | А                                                        | В    | А          | В    |
| 1        | ОП-1                                 | 1                             | 13  | 5*              | 34  | 413                                                      | 325  | 401        | 851  |
| 2        | ОП-2                                 | 1                             | 21  | 13*             | 89  | 413                                                      | 526  | 1044       | 2229 |
| 3        | ОП-3                                 | 1                             | 34  | 13*             | 55  | 413                                                      | 851  | 1044       | 1377 |
| 4        | ОП-4                                 | 2                             | 55  | 13*             | 113 | 816                                                      | 1377 | 1044       | 2830 |
| 5        | ОП-5                                 | 2                             | 70  | 3               | 55  | 816                                                      | 1753 | 1215       | 1377 |
| 6        | ОП-6                                 | 3                             | 89  | 21*             | 113 | 1215                                                     | 2229 | 1687       | 2830 |
| 7        | ОП-7                                 | 4                             | 144 | —               | —   | 1653                                                     | 3607 | —          | —    |
| 8        | ОП-8                                 | 4                             | 144 | 4               | 144 | 1653                                                     | 3607 | 1653       | 3607 |
| 9        | ОП-9                                 | 4                             | 144 | 43*             | 233 | 1653                                                     | 3607 | 3455       | 5836 |
| 10       | ОП-10                                | 4                             | 144 | —               | —   | 1653                                                     | 3607 | —          | —    |
| 11       | ОП-12                                | —                             | —   | 55*             | 233 | —                                                        | —    | 4862       | 5836 |

\* Модельный очаг пожара по ЕН.

\* Модельный очаг пожара по ЕН.

нее значение отношения площадей для отечественных и зарубежных огнетушителей составляет 5,4 и 5,5 соответственно, т. е. практически одинаковое.

Отличие в площадях тушения заключается в различном количестве теплоты, выделяемой из зоны горения бензина и древесины. В табл. 10 приведены значения теплоты сгорания для каждого модельного очага пожара.

Из табл. 10 следует, что количество теплоты, выделяемое модельными очагами пожаров класса А, не соответствует количеству теплоты, выделяемой модельными очагами пожара класса В, так как дифференциация МОП класса А гораздо меньше, чем В, т. е. при разнице теплот, выделяемых МОП 1А и 2А, 403 МДж отличие между соседними МОП класса В (13В и 21В) составляет 201 МДж.

На основе результатов анализа характеристик переносных порошковых огнетушителей можно сделать следующие выводы:

- существующий параметрический ряд отечественных и зарубежных огнетушителей не полностью отвечает требованиям для рядов предпочтительных чисел, поскольку масса заряда не может быть

использована в качестве критерия параметризации;

- отечественные порошковые огнетушители значительно уступают их зарубежным аналогам по эффективности, в том числе из-за используемого рабочего газа;
- модельные очаги пожара класса А, соответствующие требованиям ISO и ГОСТов, не отвечают требованиям параметризации и не отражают характеристики соответствующего МОП;
- количество рангов МОП класса А должно соответствовать количеству рангов МОП класса В;
- для определения эффективности огнетушителей необходимо ввести единый показатель, который будет интуитивно понятен потребителю.

Необходимо внести изменения в существующую нормативно-правовую базу относительно комплектации зданий, помещений и автотранспортных средств огнетушителями исходя из огнетушащей способности, а не массы заряда. Единый показатель эффективности огнетушителей на основе огнетушащей способности будет рассмотрен в следующих работах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальная справочно-информационная служба в области пожарной безопасности. — 2012. — Вып. 2(48).
2. Ministerio de ciencia y tecnología // Sábado. — BOE núm. 83 – 6 Abril 2002. — Vol. 15. — P. 13294–13309.
3. Liste des produits certifiés. Extincteurs. Liste NF074 – L17 d'octobre 2013. Available at: <http://www.marque-nf.com/download/produits/FR/NF074.pdf> (дата обращения: 12.06.2013 г.).
4. LPCB Red Book. Part 2. Manual fire extinguishing equipment. Last updated: 14 November 2013. URL: <http://www.redbooklive.com/pdfdocs/redbook-vol1part2.pdf> (дата обращения: 14.06.2013 г.).
5. Правила противопожарного режима в Российской Федерации : утв. постановлением Правительства РФ от 25.04.2012 г. № 390; введ. 15.05.2012 г. // Российская газета. — 2012. — № 93. URL : [http://www.6pl.ru/stok/pprf\\_390.htm](http://www.6pl.ru/stok/pprf_390.htm) (дата обращения: 12.06.2013 г.).
6. ВНЭ 5–79. Правила пожарной безопасности при эксплуатации предприятий химической промышленности : утв. Минхимпромом СССР 25.07.79 г.; введ. 01.01.81 г. — М. : Химия, 1981. URL : <http://files.stroyinf.ru/Data1/5/5049> (дата обращения: 12.06. 2013 г.).
7. РД 153-34.0-03.301-00 (ВППБ 01-02-95\*). Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. 3-е изд., с изм. и доп. : утв. РАО “ЕЭС России” 09.03.2000 г.; введ. 01.06.2000 г. URL : <http://files.stroyinf.ru/Data1/43/43607> (дата обращения: 12.06.2013 г.).
8. ВППБ 01-03-96. Правила пожарной безопасности для предприятий АК “Транснефтепродукт” : утв. Минтопэнерго России 02.12.96 г.; введ. 02.12.96 г. URL : <http://www.paral.ru/snip/ppb/vppb/01-03-96.htm> (дата обращения: 12.06.2013 г.).
9. Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ) (с изм. действ. с 01.01.2013 г.) / ООН, 2012. URL : <http://infoplate.ru/content/25-dopog-2013> (дата обращения: 12.06.2013 г.).
10. ГОСТ 21561-76. Автоцистерны для транспортирования сжиженных углеводородных газов на давление до 1,8 МПа. Общие технические условия. — Введ. 01. 01. 78 г. — М. : Изд-во стандартов, 1977; ИПК Изд-во стандартов, 2000. URL : <http://standartgost.ru/ГОСТ %2021561-76> (дата обращения: 12.06.2013 г.).
11. ГОСТ Р 50913-96\*. Автомобильные транспортные средства для транспортирования и заправки нефтепродуктов. Типы, параметры и общие технические требования. — Введ. 01.01.97 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1996; 2003. URL : <http://base.garant.ru/188678> (дата обращения: 12.06.2013 г.).

12. ГОСТ 8032–84 (СТ СЭВ 3961–83). Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. — Введ. 01.07.85 г. — М. : Изд-во стандартов, 1987. URL : <http://standartgost.ru/ГОСТ %208032> (дата обращения: 12.06.2013 г.).
13. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. — Введ. 01.07.2002 г.; 01.01.2004 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. URL : <http://www.docload.ru/Basesdoc/9/9480/index.htm> (дата обращения: 12.06.2013 г.).
14. ISO 7165:2009. Portable Fire Extinguishers — Performances and Construction. URL : [https://members.wto.org/crnattachments/2010/tbt/UGA/10\\_2412\\_00\\_e.pdf](https://members.wto.org/crnattachments/2010/tbt/UGA/10_2412_00_e.pdf) (дата обращения: 12.06.2013 г.).
15. EN 1866-1:2007. Mobile Fire Extinguishers. Characteristics, Performance and Test Methods. Publication Date: 2005-12-1. Execute Date: 2005-12-1. Publisher: European Standards (EN).

*Материал поступил в редакцию 3 июля 2013 г.*

English

## ABOUT PRACTICE PARAMETRIZATION PORTABLE POWDER EXTINGUISHERS (Analytical review)

**KOZHEVIN D. F.**, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of Physical-Chemical Principles of Combustion and Fire Suppression Department, Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, St. Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail address: Yagmort-KDF@mail.ru)

**POLYAKOV A. S.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Physics and Heat Exchange Department, Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, St. Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail address: poljakov\_as@mail.ru)

**SYTDYKOV M. R.**, Senior Lecturer of Fire Safety of Technological Processes and Production Department, Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, St. Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail address: maxim0205@mail.ru)

### ABSTRACT

The article is devoted to the typing of domestic and foreign portable dry powder fire extinguishers, by weight of fire extinguishing powder and extinguishing ability.

From the results of the analysis should be no connection between the mass of fire extinguishing agent and fire extinguishing capability for fires of classes A and B not only within the same size fire extinguisher, but between different types.

This is indicated, for example, the following facts:

- fire extinguishing ability of individual sizes of domestic fire extinguishers much lower than the corresponding foreign counterparts;
- the mass of the charge and fire extinguishing ability of domestic and foreign models of fire extinguishers each other poorly connected.

From the above it follows that for typing extinguishers most the fire extinguishing ability, characterized by an area of the model fire that class and rank, is striking feature.

From the analysis of the characteristics of model fires of classes A and B it follows that they do not meet the basic series of preferred numbers as in rank, and in the fire area. Besides differentiation of model fire of classes A and B is not consistent, because model fire of class A only 8, and class B — 15.

Based on the results of the analysis of characteristics of portable dry powder fire extinguishers, we can draw the following conclusions:

- mass of the charge can not be used as an object of parameterization;
- domestic powder extinguishers significantly inferior to their foreign counterparts in efficiency;
- model fire of class A the relevant requirements of the ISO and Standards are not consistent with the parameterization and do not reflect the characteristics of the corresponding model fire;
- the number of ranks model fire of class A grades must match the number of class B;

- to determine the effectiveness of fire extinguishers must enter a single number, the value of which will be intuitive to the user.

**Keywords:** fire extinguisher; technical parameters; rameterization; model fire; size; fire extinguishing ability.

## REFERENCES

1. *Natsionalnaya spravochno-informatsionnaya sluzhba v oblasti pozharной bezopasnosti* [National information service in the field of fire safety], 2012, no. 2(48).
2. Ministerio de ciencia y tecnología. *Sábado*, BOE núm. 83, 6 abril 2002, vol. 15, pp. 13294–13309.
3. *Liste des produits certifiés. Extincteurs*. Liste NF074 – L17 d'octobre 2013. Available at: <http://www.marque-nf.com/download/produits/FR/NF074.pdf> (Accessed 12 June 2013).
4. *LPCB Red Book. Part 2. Manual fire extinguishing equipment*. Last updated: 14 November 2013. URL: <http://www.redbooklive.com/pdffdocs/redbook-vol1part2.pdf> (Accessed 14 June 2013).
5. Rules of fire prevention regime in the Russian Federation. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2012, no. 93. Available at: [http://www.6pl.ru/stok/pprf\\_390.htm](http://www.6pl.ru/stok/pprf_390.htm) (Accessed 12 June 2013) (in Russian).
6. *Departmental Operational Standards 5–79. Fire safety regulations in the operation of enterprises of the chemical industry*. Moscow, Khimiya Publ., 1981. Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data1/5/5049> (Accessed 12 June 2013) (in Russian).
7. *Management Document 153-34.0-03.301-00 (VPPB 01-02-95\*)*. *Fire safety regulations for power plants*. Available at: <http://files.stroyinf.ru/Data1/43/43607> (Accessed 12 June 2013) (in Russian).
8. *Departmental Fire Safety Rules 01-03-96. Fire safety regulations for plants AK "Transnefteproduct"*. Available at: <http://www.paral.ru/snip/ppb/vppb/01-03-96.htm> (Accessed 12 June 2013) (in Russian).
9. *European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (DOPOG)*. United Nations, 2012. Available at: <http://infoplate.ru/content/25-dopog-2013> (Accessed 12 June 2013) (in Russian).
10. *Interstate Standard 21561-76. Automobile tanks for liquefied hydrocarbon gas transportation at pressure up to 1.8 MPa. General specifications*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2000. Available at: <http://standartgost.ru/ГОСТ%2021561-76> (Accessed 12 June 2013) (in Russian).
11. *National Standard of the Russian Federation 50913-96\*. Road vehicles for transportation and fueling of petroleum products. Types, parameters and general technical requirements*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2003. Available at: <http://base.garant.ru/188678> (Accessed 12 June 2013) (in Russian).
12. *Interstate Standard 8032-84. Preferred numbers and series of preferred numbers*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1987. Available at: <http://standartgost.ru/ГОСТ%208032> (Accessed 12 June 2013) (in Russian).
13. *National Standard of the Russian Federation 51057-2001. Fire fighting equipment portable fire extinguishers. General technical requirements. Test methods*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2002. Available at: <http://www.docload.ru/Basesdoc/9/9480/index.htm> (Accessed 12 June 2013) (in Russian).
14. *ISO 7165:2009. Portable fire extinguishers — Performances and construction*. Available at: [https://members.wto.org/cnattachments/2010/tbt/UGA/10\\_2412\\_00\\_e.pdf](https://members.wto.org/cnattachments/2010/tbt/UGA/10_2412_00_e.pdf) (Accessed 12 June 2013).
15. *EN 1866-1:2007. Portable fire extinguishers. Part 1. Specifications, requirements and test methods*. Publication Date: 2005-12-1. Execute Date: 2005-12-1. Publisher: European Standards (EN).

УДК 614.841.33

## ОПЫТ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНСТИТУТА САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© **Н. В. АФАНАСЬЕВ**, директор Департамента Национального союза организаций в области обеспечения пожарной безопасности (НСОПБ) (Россия, 115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, 4; e-mail: nsopb@nsopb.ru)

© **Д. В. ВАГАНОВА**, руководитель пресс-службы НСОПБ (Россия, 115088, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, 4; e-mail: vaganova@nsopb.ru)

По разным причинам за последние годы в сфере обеспечения пожарной безопасности сложились негативные тенденции, проявления которых крайне отрицательно влияют на безопасность зданий и сооружений, и в конечном счете — пребывающих в них людей. Это и низкий профессиональный уровень специалистов отдельных организаций, не отвечающий современным требованиям, вследствие чего на производстве допускаются случаи несоблюдения стандартов и требований, нарушения технологических регламентов. Это и практика создания так называемых фирм-однодневок, когда образуется юридическое лицо под конкретный объем выполняемых работ по договоренности с заказчиком. Работы при этом выполняются некачественно и, как правило, с использованием на подряде других организаций, а потом фирма исчезает. Эти и другие подобные им примеры, к сожалению, есть, и скрывать их нельзя, и в первую очередь потому, что последствия могут напрямую влиять на безопасность объектов и людей. Поэтому необходимо особенно четко представлять уровень этих последствий. Так, например, в результате неквалифицированно выполненных работ, допустим, по покраске фасада здания его владельцу в лучшем случае через некоторое время придется подобные работы повторить. Однако если фирма проведет неквалифицированно работы по огнезащите несущих металлических конструкций здания с массовым пребыванием людей, то могут наступить катастрофические последствия в результате возникновения пожара, поскольку не был обеспечен требуемый уровень огнестойкости конструкций.

Действующее законодательство не позволяет в полной мере и эффективно осуществлять контроль со стороны государства за деятельностью “недобросовестных” организаций. И в этом случае часть государственных функций может быть заменена механизмом саморегулирования, что позволит осуществлять более строгий, регулярный и одновременно прозрачный по процедуре контроль за деятельно-

стью предприятий, являющихся членами ассоциации саморегулируемых организаций (СРО).

Классическая модель отношений потребителей и производителей выглядит следующим образом: институты потребителей и институты производителей взаимодействуют между собой, а государство выполняет надзорные функции за этими отношениями.

В итоге потребители и производители в организованной форме, в рамках своих дискуссий и претензий, создают под надзором государства оптимальное поле для регулирования. И не в Роспотребнадзор надо звонить, когда нарушены ваши права, а в соответствующую ассоциацию. И не чиновники должны вас защищать, а представители ассоциации.

Деятельность ассоциации производителей построена по принципу риска ответственности коллектива. По этой причине кто угодно не может стать членом саморегулируемой ассоциации. Если член ассоциации причинит ущерб потребителю, то платить за него придется и профессиональному сообществу. Нерадивый член СРО может нанести ущерб своей ассоциации максимум два раза, а потом его просто исключают из СРО и забудут. При этом он не только лишится членства в соответствующей СРО, но и должен будет уйти из профессии. Поэтому государственная система лицензирования и общественная система СРО просто несопоставимы.

Создание саморегулируемых организаций обусловлено двумя основными факторами:

- необходимостью повышения качества оказываемых на российском рынке работ и услуг в целях обеспечения надлежащей противопожарной защиты граждан Российской Федерации и объектов экономики;
- возможностью передать на рынок часть государственных разрешительных функций и снизить тем самым уровень администрирования бизнеса.

В настоящее время более 47 тысяч юридических лиц и индивидуальных предпринимателей осуществляют свою деятельность по предоставленным

МЧС России лицензиям на право проведения работ по монтажу, ремонту и обслуживанию средств обеспечения пожарной безопасности. В основном это предприятия малого и среднего бизнеса. Ими, по оценке экспертов, выполняются работы на сумму, превышающую 90 млрд. руб. в год.

Создание саморегулируемых организаций в области пожарной безопасности позволит отказаться от действующего ныне порядка лицензирования производства работ по монтажу, ремонту и обслуживанию средств обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, установленного Федеральным законом “О лицензировании отдельных видов деятельности”, и передать эти функции саморегулируемым организациям, а также установить четкие стандарты и правила ведения предпринимательской деятельности, осуществления контроля и надзора за своими членами и меру их ответственности.

Необходимость введения института саморегулирования в противопожарной отрасли обусловлена в первую очередь прямой зависимостью жизни людей от качества работ (услуг) в области пожарной безопасности. Кроме того, важным аргументом введения системы саморегулирования является более строгий и одновременно открытый контроль за деятельностью предприятий, являющихся членами СРО. На рынке противопожарных услуг, как и в любой отрасли, существуют организации, работающие на низком профессиональном уровне из-за слабой профессиональной подготовки сотрудников. В работе таких организаций используется непрофессиональное оснащение, допускаются случаи неправильного монтажа, установки оборудования с отступлениями от проекта, нарушения сроков гарантийного обслуживания. Система планирования и контроля производства на ряде предприятий находится на крайне низком организационном и практическом уровне. В рамках саморегулирования многие проблемы таких предприятий, особенно в области повышения результативности и качества выполнения работ, можно решить более эффективно.

Саморегулирование имеет некоторые преимущества перед государственным регулированием. Нормы саморегулирования более гибкие, поэтому они легче адаптируются к изменяющимся обстоятельствам. У саморегулируемых организаций больше возможностей в осуществлении контроля за качеством проводимых работ и услуг и лучше обратная связь с рынком. Участники рынка могут легально влиять на нормотворчество, а государство снижает свои расходы на его регулирование.

В системе отношений между субъектами рынка саморегулируемая организация должна занимать место посредника между органами государственной власти, профессиональными участниками и их кли-

ентами. С одной стороны, саморегулируемая организация — представитель и выразитель интересов профессиональных участников перед государством, а с другой — квалифицированный агент государства как выразителя общественных интересов в среде профессиональных участников. Объективно такая позиция позволяет использовать саморегулируемые организации как инструмент согласования интересов всех субъектов рынка с интересами государства.

Во-первых, имеет место принцип свободного доступа к документам СРО. Любое лицо, принявшее решение вступить в СРО (при условии, что оно соответствует предъявляемым к членам требованиям) должно иметь такую возможность, и СРО не имеет права отказать ему в приеме. Совершенно очевидно, что такое лицо должно иметь возможность свободного выхода из любого СРО. Таким образом, можно говорить о принципе свободы выбора СРО. Это в свою очередь будет стимулом для СРО в “борьбе” за членов.

Во-вторых, все члены СРО должны иметь равные права и обязанности, т. е. должен соблюдаться принцип равенства членов.

В-третьих, саморегулируемые организации не должны заниматься какой-либо предпринимательской деятельностью на одном поле со своими членами. С учетом конкурентных возможностей таких организаций подобная деятельность носила бы дискриминационный характер по отношению к своим членам, а это недопустимо. Следовательно, должен соблюдаться принцип неучастия СРО в предпринимательской деятельности, являющейся предметом саморегулирования.

В-четвертых, за нарушение членами правил саморегулируемой организации санкцией может быть только привлечение к дисциплинарной ответственности. Таким образом, можно говорить о принципе ответственности членов в виде дисциплинарного взыскания.

В-пятых, саморегулирование подразумевает возможность самостоятельного достижения членами определенных (желаемых ими) результатов. Это достижение осуществимо либо непосредственно силами конкретного члена, либо сообща — через органы управления СРО. Соответственно, эти органы управления должны быть подотчетными членам саморегулируемой организации. Один из основных элементов подотчетности — возможность воздействия на органы управления через их выборность. Таким образом, СРО должна соответствовать принципам выборности органов управления и участия членов СРО в органах контроля и управления.

Наибольшей эффективности саморегулирования, в частности, в области пожарной безопасности

по сравнению с госрегулированием можно достичь при выполнении следующих условий:

- обязательность членства организаций или физических лиц в саморегулируемой организации для функционирования в соответствующем сегменте рынка;
- обеспечение высоких стандартов функционирования бизнеса, что подразумевает наличие кодекса правил, системы контроля их соблюдения и системы адекватных санкций за нарушение правил;
- исключение в рамках саморегулирования механизмов нездоровой конкуренции;
- наличие в рамках саморегулирования механизмов исключения преимущественного соблюдения интересов членов СРО в ущерб интересам общества.

Сегодня много говорят о том, что система саморегулирования не подходит для России. Да, необходимо признать, что введение саморегулирования возможно только в зрелых секторах рынка. Если какие-то производители, сообщества производителей считают, что им не подходит закон о саморегулировании, то это значит, что они не разобрались в данном вопросе и заблуждаются или недостаточно добросовестны в своей деятельности.

Все, кто кричит об излишнем давлении государства, о засоренности рынка недобросовестными производителями и ничего не делает, на самом деле являются пособниками этих безобразий. После принятия закона о СРО в Российской Федерации созданы практически все условия для того, чтобы сам бизнес мог отказаться от излишнего контроля государства. Бездействие его в нынешних условиях можно рассматривать как саботаж.

В настоящее время на территории страны уже работают более 70 некоммерческих партнерств в сфере обеспечения пожарной безопасности, причем более 30 из них имеют статус саморегулируемых организаций.

В целях соблюдения общественных интересов саморегулируемых организаций, обеспечения их взаимодействия с органами власти всех уровней, с потребителями продукции услуг и работ в области обеспечения пожарной безопасности, координации их деятельности и защиты прав целесообразно создание национального союза саморегулируемых организаций.

Перспектива развития саморегулирования в области пожарной безопасности во многом зависит от окончательной редакции соответствующего законопроекта, который с 2010 г. никак не может пройти все необходимые стадии согласования и принятия в Государственной Думе Федерального Собрания Российской Федерации.

Не дожидаясь принятия и вступления в силу федерального закона об обязательном противопожарном саморегулировании, многие участники рынка добровольно объединились в саморегулируемые организации и на практике смогли реализовать возможности, которые предоставляет статус саморегулируемой организации. Об одном из таких примеров стоит рассказать подробнее.

Член Национального союза организаций в области обеспечения пожарной безопасности (НСОПБ) саморегулируемая организация Некоммерческое партнерство “Приволжский центр в области ГОЧС и обеспечения пожарной безопасности” обратилась в Верховный суд Российской Федерации с заявлением о признании частично не действующим приказа Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегиона России) от 30.12.2009 г. № 624.

Таким образом, впервые в Российской Федерации была реализована норма Федерального закона “О саморегулируемых организациях” (часть 4 статьи 4), согласно которой саморегулируемая организация от своего имени и в интересах своих членов вправе обратиться в суд с заявлением о признании недействующим не соответствующего федеральному закону нормативного правового акта, обязанность соблюдения которого возлагается на членов саморегулируемой организации.

При этом была предпринята попытка решения так называемой проблемы “двойного регулирования” работ по монтажу средств обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений. Как известно, наиболее остро данная проблема стала проявляться после принятия Минрегионом России приказа № 624. Указанным нормативным правовым актом был утвержден перечень работ в строительстве, на осуществление которых требовался допуск от саморегулируемых организаций и в который были включены также лицензируемые работы в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений.

В первой половине 2012 г. Министерством экономического развития Российской Федерации (Минэкономразвития России) была проведена экспертиза приказа № 624 в целях выявления в нем положений, необоснованно затрудняющих ведение предпринимательской и инвестиционной деятельности. В результате было выявлено порядка 21 вида так называемых “пожарных” работ, которые подпадали под требование наличия одновременно и лицензии, и допуска.

При этом Минэкономразвития России указало, что варианты решения описанной проблемы должны быть рассмотрены правительственной комиссией по проведению административной реформы, и посчитало, что наиболее оптимальным вариантом ре-

гулирования является отнесение “пожарных” видов работ к сфере лицензирования с их исключением из приказа № 624. Тем не менее даже по прошествии более полугода с момента опубликования результатов экспертизы данная проблема не была решена на уровне Правительства Российской Федерации. Тогда НСОПБ был вынужден инициировать разрешение проблемы двойного регулирования “пожарных” видов работ, подав в Верховный суд Российской Федерации от имени саморегулируемой организации заявление о признании частично не действующим приказа № 624 (в части включения в данный приказ “пожарных” видов работ).

Во многом причиной обращения в Верховный суд Российской Федерации послужили случаи привлечения к административной ответственности членов саморегулируемой организации за выполнение работ по огнезащите при наличии действующей “пожарной” лицензии, но без наличия “строительного” допуска на данный вид работ.

Расчет саморегулируемой организации был достаточно прост. В случае удовлетворения требований Верховным судом Российской Федерации “пожарные” виды работ были бы отнесены к сфере лицензирования и исключены из приказа № 624 на основании решения Верховного суда без какого-либо изменения самого приказа. В случае отказа в удовлетворении заявленных требований Верховный суд непременно должен был бы сделать вывод о том, что наличие лицензии МЧС России необходимо для выполнения “пожарных” видов работ лишь на стадии эксплуатации объекта, и, как следствие, “пожарные” виды работ на стадии строительства, реконструкции и капитального ремонта были бы отнесены к сфере саморегулирования с их исключением из сферы лицензирования.

Для рассмотрения данного заявления Верховным судом был использован максимально возможный трехмесячный срок, затребованы результаты экс-

пертизы Минэкономразвития России, а также был привлечен в качестве заинтересованного лица не только Минрегион России, но и Госстрой России.

Первая и апелляционная инстанции Верховного суда Российской Федерации, к нашему сожалению, пришли к выводу, что приказ № 624 не противоречит Федеральному закону “О лицензировании отдельных видов деятельности” и Положению о лицензировании деятельности по монтажу, техническому обслуживанию и ремонту средств обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений (утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации от 30.12.2011 г. № 1225). При этом Верховный суд Российской Федерации, как и предполагалось, устранил проблему двойного регулирования “пожарных” видов работ, посчитав, что наличие лицензии МЧС России необходимо для выполнения “пожарных” видов работ лишь на стадии эксплуатации зданий и сооружений.

Имея определенный результат, по нашему мнению, в вопросе защиты прав и интересов своих членов, саморегулируемой организации нецелесообразно останавливаться на полпути. Действующее законодательство о саморегулировании предоставляет саморегулируемой организации право обращения в надзорные инстанции Верховного суда Российской Федерации, а при необходимости и в Конституционный суд России.

Мы уверены, создание саморегулируемых организаций в области пожарной безопасности существенно повысит уровень противопожарной защиты объектов экономики, упростит процедуры проведения контрольных мероприятий в отношении членов саморегулируемых организаций. Кроме того, появление саморегулируемых организаций будет способствовать предупреждению фактов проявления коррупции при осуществлении пожарного надзора, что также является немаловажным обстоятельством.

*Материал поступил в редакцию 25 сентября 2013 г.*

**ВОПРОС:**

В ст. 82, п. 8 Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 10.07.2012 г.) указано, что кабели, прокладываемые открыто, должны быть не распространяющими горение (тип исполнения “нг”). В то же время в ст. 6, в табл. 2 ГОСТ Р 53315–2009 “Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности” (с изм. № 1 от 30.06.2011 г.) указываются преимущественные области применения кабельных изделий с учетом типа их исполнения. Из данной таблицы видно, что для обеспечения пожарной безопасности в зданиях и сооружениях с массовым пребыванием людей использовать для прокладки кабели только с типом исполнения “нг” недостаточно. Помимо этого требуется, чтобы применяемые кабельные изделия не выделяли коррозионно-активных газообразных продуктов при горении и тлении при групповой прокладке (тип исполнения “НГ”). Если же групповая прокладка кабелей осуществляется в детских садах, школах, больницах, домах престарелых и т. д., то необходимо уже применять кабельные изделия с типом исполнения “LS” (с пониженным дымо- и газовыделением) и “LTx” (с низкой токсичностью продуктов горения).

Какой тип исполнения кабельных изделий следует использовать при их групповой прокладке, например, в торговых залах? Достаточно ли будет использовать кабели с типом исполнения “нг”?

**ОТВЕТ:**

Частично данный вопрос был рассмотрен в рубрике “Вопрос–ответ” в № 6 за 2013 г. (с. 90). В ответе было отмечено, что основными условиями обеспечения пожарной безопасности в зданиях и сооружениях с массовым пребыванием людей являются: предотвращение распространения пламени по кабельным изделиям, ограничение их дымообразующей способности и снижение показателя токсичности продуктов горения.

Важным критерием для выбора того или иного типа исполнения кабельных изделий в первую очередь является выбор способа обеспечения пожарной безопасности. Для торговых залов с небольшими площадями это может иметь решающее значение. Все дело в том, что в соответствии со ст. 6 № 123-ФЗ (в ред. от 10.07.2012 г.) (далее — № 123-ФЗ) обеспечить пожарную безопасность объекта можно двумя способами: 1) выполнением в полном объеме требований пожарной безопасности технических регламентов с проведением оценки пожарного риска, величина которого не должна превышать допустимых значений; 2) выполнением требований пожарной безопасности технических регламентов и нормативных документов по пожарной безопасности. В реальности же

выполнение всех требований нормативных документов по пожарной безопасности в большинстве случаев практически невозможно.

Важно также отметить, что независимо от способа обеспечения пожарной безопасности согласно ст. 53 № 123-ФЗ для всех зданий и сооружений должна быть предусмотрена безопасная эвакуация людей, обоснование которой осуществляется путем сравнения расчетного и необходимого времени эвакуации. Расчетное время не должно превышать необходимого времени эвакуации. Под расчетом необходимого времени эвакуации подразумевается расчет минимального времени наступления одного из опасных факторов пожара (повышенная температура окружающей среды, потеря видимости в дыму, пониженное содержание кислорода, токсичность газов). Как показывает практика, данный расчет является субъективным и приблизительным, поэтому результаты его у разных экспертов могут существенно различаться, а при необходимости могут быть и “подогнаны” с целью выполнения условий пожарной безопасности. Расчетное время эвакуации оценивается с помощью различных алгоритмов, которые также являются на сегодняшний день несовершенными и часто расходятся с реальным распределением людских потоков.

Однако самое главное заключается в том, что расчеты, необходимые для обоснования безопасной эвакуации людей, составляют 95 % расчетов по оценке пожарного риска!

Организации, осуществляющие экспертизу, в обязательном порядке требуют включать в раздел проектной документации “Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности” расчет безопасной эвакуации людей независимо от того, выполнены ли все требования пожарной безопасности по параметрам эвакуации (ширина и длина коридоров, количество и ширина проемов и маршей и т. д.) или нет. Следовательно, обеспечение пожарной безопасности вторым способом без расчетов величины пожарного риска становится невозможным, так как в любом случае приходится выполнять оценку пожарного риска (только на 95 %), даже если остальные требования нормативных документов по пожарной безопасности соблюдены в полном объеме.

При реализации первого способа обеспечения пожарной безопасности на объекте (далеко не самого дешевого) отказаться от типов кабелей по ГОСТ Р 53315–2009 можно будет только в том случае, если расчеты по оценке пожарного риска дадут положительные результаты с применением кабелей типа “нг”, предусмотренных ст. 82 № 123-ФЗ.

Кроме того, на большинство объектов должна разрабатываться декларация пожарной безопасности, составной частью которой является расчет по оценке пожарного риска\*. Согласно ст. 64 № 123-ФЗ можно не разрабатывать такую декларацию и, следовательно, не выполнять расчет пожарного риска, но только для тех объектов, в отношении которых законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности (гл. 6, ст. 49 Градостроительного кодекса РФ) не предусмотрено проведение экспертизы проектной документации.

Например, если рассматривать отдельно стоящий небольшой одно- или двухэтажный супермаркет площадью до 1500 м<sup>2</sup>, то для него проведение экспертизы проектной документации не требуется (см. гл. 6, ст. 49, п. 4 Градостроительного кодекса РФ), а значит, и составление декларации с расчетом пожарного риска также необязательно (см. п. 4. ст. 49 Градостроительного кодекса РФ). Следовательно, у собственника появляется возможность выбирать тип исполнения кабелей самостоятельно. Можно заложить в проектную документацию кабели типа “нг”, но тогда согласно ст. 53 № 123-ФЗ придется обосновывать безопасную эвакуацию людей путем расчетов. Если же выбрать типы кабелей по ГОСТ Р 53315–2009, то, возможно, удастся обосновать безопасную эвакуацию людей без расчетов при условии выполнения всех требований пожарной безопасности к путям эвакуации, системам дымоудаления, оповещения и эвакуации. Для объектов с массовым пребыванием людей малой площади порой выгоднее выполнить требования нормативных документов по пожарной безопасности и, руководствуясь этим, обосновать безопасную эвакуацию людей.

Совсем иначе обстоит дело с торговыми залами крупных супермаркетов площадью более 1500 м<sup>2</sup> или гипермаркетов. Для таких объектов предусматривается

обязательная экспертиза проектной документации, а значит, и составление пожарной декларации с расчетом по оценке пожарного риска. В этом случае достаточно заложить в проектную документацию кабели “нг” в соответствии с требованиями ст. 6 № 123-ФЗ. Однако такой вариант будет обоснованным только в том случае, если расчет по оценке пожарного риска не будет превышать допустимых значений, указанных в ст. 79 № 123-ФЗ.

Независимо от способа обеспечения пожарной безопасности необходимо обосновать безопасную эвакуацию людей при возникновении пожара. Но так как расчеты времени эвакуации являются далеко не совершенными, следует отдавать предпочтение мерам, предусмотренным техническими регламентами и нормативными документами по пожарной безопасности. Именно эти меры смогут **реально** повысить пожарную безопасность людей и объекта в целом, а не создать видимость того, что все под контролем. Поэтому закладывая в проектную документацию более надежные типы кабелей по ГОСТ Р 53315–2009, оборудование, системы и т. д., предусмотренные другими нормативными документами, собственник объекта может быть уверен, что на его объекте пожарная безопасность будет обеспечена на высоком уровне.

*P.S. Авторы ответа ни в коем случае не отвергают применение расчетов по оценке пожарного риска, проводимых с целью обеспечения эвакуации людей на объекте. В некоторых случаях, когда при реконструкции или ремонте объекта невозможно физически реализовать требования отдельных нормативных документов, оценка риска становится единственным вариантом решения вопроса, но на сегодняшний день она далека от совершенства.*

Ответ подготовили сотрудники кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России: **В. Н. ЧЕРКАСОВ**; старший преподаватель **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ**

\* Для объектов защиты, действовавших до вступления в силу № 123-ФЗ, расчет пожарного риска не требуется (см. ст. 6, п. 3 № 123-ФЗ).

**ISSE**  
INTEGRATED SAFETY & SECURITY EXHIBITION

КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

VII международный салон  
**КОМПЛЕКСНАЯ  
БЕЗОПАСНОСТЬ  
2014**

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

**20 - 23 мая**

Тематические разделы



Пожарная  
безопасность



Техника  
охраны



Безопасность  
границы



Медицина  
катастроф



Защита  
и оборона



Средства  
спасения



Экологическая  
безопасность



Промышленная  
безопасность



Информационные  
технологии



Комплексная безопасность  
на транспорте



Ядерная  
и радиационная безопасность

# 28–30 мая

Красноярск

# 2014



X специализированный форум-выставка



- **Безопасность банковского сектора – NEW**
- Технические средства и системы безопасности
- Инженерно-технические средства физической защиты
- Пожарная безопасность
- Аварийно-спасательное оборудование
- Транспорт
- Экипировка. Индивидуальные средства защиты
- Информационная безопасность

РЕКЛАМА



сибирь  
международный  
выставочно-деловой центр



Организаторы:



Информационная поддержка:

БЕЗОПАСНОСТЬ  
всероссийский специализированный журнал

ПОЖНАУКА  
Издательство



**МВДЦ «СИБИРЬ»**

**ул. Авиаторов, 19**

**тел.: (391) 22-88-400**

**22-88-611 – круглосуточно**

**ccb@krasfair.ru, www.krasfair.ru**



2-й международный отраслевой форум-выставка  
**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ XXI ВЕКА.  
ПОЖАРНАЯ И ОХРАННАЯ АВТОМАТИКА**

23-26 сентября 2014 года  
Москва, МВЦ «Крокус Экспо»  
II павильон, зал №9

13-я международная отраслевая выставка  
«Пожарная безопасность XXI века. Пожарная и охранная автоматика»

- Пожарная безопасность отраслевых направлений экономики и жизнедеятельности
- Пожарная техника, оборудование, системы защиты и спасения
- Пожарная и охранная автоматика
- Системы и средства охраны периметра и объекта
- Услуги в области пожарной безопасности
- Противопожарная пропаганда

Научно-практическая деловая программа по отраслям экономики  
«Инновационные технологии в развитии средств и систем пожарной безопасности и систем охранной автоматике»

Конкурсы:

- «Лучшее техническое решение в области пожарной безопасности и охранной автоматике»
- «Лидер продаж продукции пожарно-технического назначения»
- «Лучшие материалы и наглядные пособия по противопожарной пропаганде и обучению мерам пожарной безопасности»

РЕКЛАМА



12+

Дирекция выставки: +7 (495) 727-25-98, [fireexpo@crocus-off.ru](mailto:fireexpo@crocus-off.ru), [www.fireexpo.ru](http://www.fireexpo.ru)

Организатор:  
**Крокус Экспо**  
Международный выставочный центр

Генеральный  
информационный партнёр:  
**РПА**  
**Индустрия  
Безопасности**

Официальный  
медиа-партнёр:  
**МЦ**  
**СМИ**

Главный  
Интернет-партнёр:  
**БЕС.РУ**  
Информационно-аналитический портал

Главный  
медиа-партнёр:  
**Издательство  
ПОЖНАУКА**

Главный информационный  
партнёр:  
**СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ**  
**SS**

Региональные  
медиа-партнёры:  
**БЕЗОПАСНОСТЬ**  
**112** Единая служба спасения

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; проблемные обзоры и краткие сообщения; комментарии к нормативно-техническим документам; справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность. В начале работы (например, во введении) целесообразно кратко изложить состояние проблемы и место в ней данной задачи. В конце публикации должны быть сделаны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

*Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.*

**1.** Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по электронному адресу (info@fire-smi.ru), а также в бумажном виде по почте (121352, Российская Федерация, г. Москва, а/я 43). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана авторами.

**2.** Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

**2.1.** Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

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

**2.3.** Информация об авторах.

**2.3.1.** Имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью, на русском языке и в транслитерации). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

**2.3.2.** Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

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

**2.4.** Аннотация на русском языке (не менее 4–5 предложений).

**2.5.** Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);

- содержательным (должны излагаться существенные результаты работы; не должен включаться материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “The study tested”, но не “It was tested in this study”);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

Приветствуется структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи; метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

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

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

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

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

В авторском резюме не даются ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

**2.6.** Ключевые слова (на русском и английском языках).

**2.7.** Текст статьи (в формате Word через 1,5 инт.; формулы должны быть набраны в Equation 3.0 или MathType).

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

Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. При этом цитируемый один в один текст из других публикаций следует брать в кавычки. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

**2.9.** Пристайные списки литературы в романском алфавите (латинице) — References.

Для References можно предложить следующий формат:

Author A. A., Author B. B., Author C. C. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53.

### Примеры описаний в References

#### Статьи из журнала:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoye khozyaystvo — Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

(Авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] (представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо), курсивом название журнала (транслитерация — перевод), год выхода издания, номер журнала, интервал страниц. Нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников).

#### Статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkowska-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

#### Статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micro-machining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

(Если описываемая публикация имеет doi, его указание обязательно в References).

#### Статьи из периодического издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimentalnoye issledovaniye prochnosti soyedineniy “stal—kompozit” [Experimental study of the strength of joints “steel—composite”]. *Trudy MGTU “Matematicheskoye modelirovaniye slozhnykh tekhnicheskikh sistem”* [Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”], 2006, no. 593, pp. 125–130.

#### Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalina I. Z., Mukhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Svishnikov A. V. Osobennosti proyektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniym gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novyye resursosberegayushchiye tekhnologii nedropolzovaniya i povysheniya neftegazootdachi”* [Proc. 6th Int. Symp. “New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact”]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

#### Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Posledneye pravitelstvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

#### Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 472 p.).

#### Интернет-ресурс:

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources] Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (Accessed 7 February 2011).

#### Диссертации или авторефераты диссертаций:

Semenov V. I. *Matematicheskoye modelirovaniye plazmy v sisteme kompaktnyy tor*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

#### ГОСТы:

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

#### Описание патента:

Palkin M. V., e. a. *Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

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

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

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

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

**6.** К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

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

**8.** Плата за публикацию работ с аспирантов не взимается.

**Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.**

[www.ognebioz.ru](http://www.ognebioz.ru)

[О проекте](#)

[Средства ОБЗ](#)

[Производители](#)

[Средства  
для нанесения](#)

[Контакты](#)

# Информационный портал **Средства огне- и биозащиты**

Все об огне- и биозащите  
древесины, металла,  
тканей и кабельных изделий



*Капля сегодня —  
уверенность завтра*

- Подробное описание каждого состава и его особенностей
- Координаты производителей
- Координаты поставщиков сырья и оборудования
- Нормативные требования

**ognebioz.ru**

Тел.: (495) 228-09-03



**Ю. И. ГОРБАНЬ**

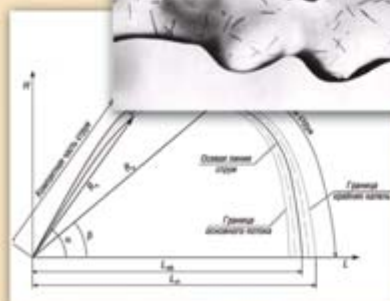
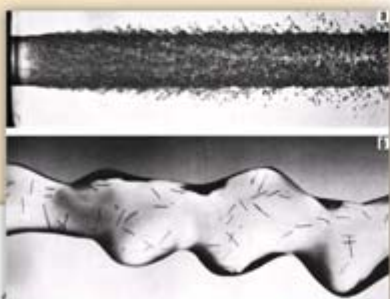
**ПОЖАРНЫЕ РОБОТЫ И СТВОЛЬНАЯ ТЕХНИКА  
В ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКЕ И ПОЖАРНОЙ ОХРАНЕ**

М.: Пожнаука, 2013. - 352 с.

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



РЕКЛАМА



**СОДЕРЖАНИЕ:**

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

**ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ КНИГИ ОБРАЩАЙТЕСЬ:**

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

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

Тел./факс: (8142) 57-11-27, 77-49-23

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

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

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

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

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

**ООО „Издательство „Пожнаука”**

Тел: (495) 228-09-03

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

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

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

# ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

**Справочное пособие**

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



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

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

- 1 **Свод правил. Системы противопожарной защиты** (электронная версия). — 2011. Цена 500 руб.
- 2 **Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"**. — 2010. — 150 с. Цена 220 руб.
- 3 АНТОНЕНКО А. А., БУЦЫНСКАЯ Т. А., ЧЛЕНОВ А. Н. **Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения объектов**: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с. — ISBN 978-5-91444-017-3. Цена 380 руб.
- 4 БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Моделирование пожаров и взрывов**. — 2000. — 492 с. Цена 540 руб.
- 5 ГОРБАНЬ Ю. И. **Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране**. — 2013. — 352 с.: ил. — ISBN 978-591444-023-8. Цена 450 руб.
- 6 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ЗАГОРСКИЙ Д. О. **Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности**. — 2010. — 118 с. — ISBN 978-5-91444-015-9. Цена 250 руб.
- 7 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие. — 2011. — 320 с. — ISBN 978-591444-021-X. Цена 350 руб.
- 8 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие [Электронная версия]. — 2011. Цена 300 руб.
- 9 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огнезащиты**. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-010-4. Цена 540 руб.
- 10 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огне- и биозащиты**. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с. БЕСПЛАТНО.
- 11 КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ГРОМОВОЙ В. Ю. **Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение**. — 2010. — 94 с. — ISBN 978-5-91444-014-02. Цена 140 руб.
- 12 ПИЛЮГИН Л. П. **Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций**. — 2000. — 224 с.: ил. — ISBN 5-901283-03-1. Цена 240 руб.
- 13 ПИЛЮГИН Л. П. **Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов**. — 2010. — 380 с. — ISBN 978-5-91444-016-6. Цена 450 руб.
- 14 СМЕЛКОВ Г. И., ЧЕРКАСОВ В. Н., ВЕРЕВКИН В. Н., ПЕХОТИКОВ В. А., РЯБИКОВ А. И. **Электроустановки во взрывопожароопасных зонах**: справочное пособие. — 2012. — 222 с. — ISBN 978-5-91444-022-X. Цена 300 руб.
- 15 ЧЕРКАСОВ В. Н., ЗЫКОВ В. И. **Обеспечение пожарной безопасности электроустановок**: учебное пособие. — 2010. — 406 с. — ISBN 978-5-91444-020-3. Цена 470 руб.

**СУПЕРСКИДКИ**

- 1 СОБУРЬ С. В. **Заполнение проемов в противопожарных преградах**: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с. — ISBN 5-98629-005-4. Цена 90 руб.
- 2 СОБУРЬ С. В. **Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий**: справочник. — 2005. — 88 с. — ISBN 5-98629-004-6. Цена 36 руб.
- 3 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ГРАЧЕВ В. А. **Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро**: учебное пособие. — 2007. — 383 с. — ISBN 5-903049-09-5. Цена 220 руб.
- 4 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Леса, торфяники, лесосклады**. — 2007. — 358 с. — ISBN 5-903049-12-5. Цена 220 руб.
- 5 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов**: учебное пособие. — 2007. — 325 с. — ISBN 5-903049-11-7. Цена 220 руб.

■ Адрес: 121352, г. Москва, а/я 43. Заказ книг: тел.: (495) 228-09-03, 8-909-940-01-85; e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru; www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

- В бланке заказа на приобретение книг просьба указать:
- 1) название организации полностью;
  - 2) реквизиты (ИНН/КПП обязательно);
  - 3) наименование и количество заказываемой литературы;
  - 4) почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо;
  - 5) способ доставки: самовывоз или по почте.

■ **ВНИМАНИЕ!!!** Цены указаны без стоимости доставки, которая составляет 25 % стоимости заказа.

■ **Постоянным покупателям предоставляются скидки!**

**Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 1-е полугодие 2014 г.**

**Подписка на полугодие включает в себя  
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.  
Стоимость полугодовой подписки составляет 4950 руб. (НДС — 0 %).**



**ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА  
на журнал**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-  
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

### **КУПОН '2014**

| Издание                                                      | Цена подписки,<br>руб. | Количество<br>экземпляров | Стоимость<br>подписки, руб. |
|--------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Журнал “Пожаровзрывобезопасность”<br>(1-е полугодие 2014 г.) | <b>4950</b>            |                           |                             |

- ☐ Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.  
В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим прислать также карточку Вашей организации. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru в отдел распространения.
- ☐ Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:  
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”  
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, а/я 43  
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001  
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва  
К/с 30101810400000000555  
БИК 044525555  
Главный редактор — *Корольченко Александр Яковлевич*

***По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам  
(495) 228-09-03, 8-909-940-01-85***

### **ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:**

через ООО “Издательство “Пожнаука”;  
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;  
через агентство “АПР”, индекс 83647  
(в любом почтовом отделении в каталоге  
“Газеты и журналы”);

через подписные агентства:  
ООО “Интер-Почта 2003”, ООО “ИНТЕР-ПОЧТА-РЕГИОН”,  
ООО “Урал-Пресс XXI”, ООО “Информнаука”,  
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”



# Sfiteх

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

ufi  
Approved  
Event

11-14  
НОЯБРЯ | 2014

Место проведения:

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ



РЕКЛАМА

## 23-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ

- ⊗ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
- ⊗ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
- ⊗ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ
- ⊗ **NEW!** ГАДЖЕТЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**IS.CS**

5-я Специализированная выставка  
«Информация: техника и технологии защиты»

Организаторы:



primexpo



ITE GROUP PLC

+7 (812) 380 6009/00, security@primexpo.ru

[www.sfiteх.ru](http://www.sfiteх.ru)