

3-2014

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ВЛИЯНИЕ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ
ИСТОЧНИКА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ
В ПОМЕЩЕНИИ НА РАЗВИТИЕ
ВЗРЫВА ГАЗА





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

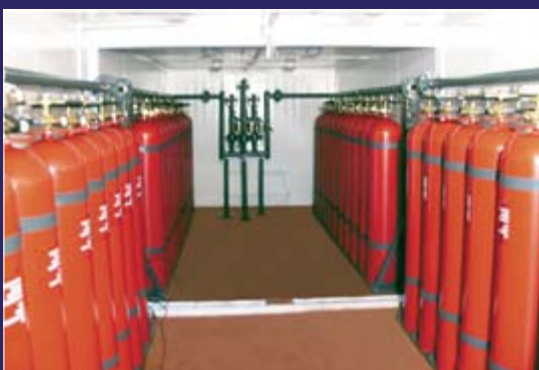
Система менеджмента качества сертифицирована как соответствующая требованиям 9001–2008



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/см²),
МГП-35 емкостью от 60 до 100 л
на рабочее давление до 14,7 МПа (150 кгс/см²),
МГП-50 емкостью от 60 до 100 л
на рабочее давление до 6,37 МПа (65 кгс/см²)
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 м³
(стационарные и передвижные)



Распределительные устройства
(РУ) для комплектации АУГП
централизованного типа



Насадки для распыления
газовых огнетушащих веществ
(струйные и локальные)



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

Постоянно действующий открытый семинар
“ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ”,
23 апреля 2014 г., г. Москва, Россия

7

Constantly operating seminar
“FIRE SAFETY IN CONSTRUCTION”,
23 April 2014, Moscow, Russia

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

БАКИРОВ И. К., ХАЛИУЛЛИНА Д. Х., КАШАПОВА Г. Х.
Анализ понятия риска, опасности и безопасности

8

BAKIROV I. K., KHALIULLINA D. Kh., KASHAPOVA G. Kh.
Analysis of concept of risk, danger and safety

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

ВОЛКОВ Р. С., КУЗНЕЦОВ Г. В., СТРИЖАК П. А.
Экспериментальное исследование влияния
начальной температуры распыленной воды
на интенсивность ее испарения при движении через пламя

12

VOLKOV R. S., KUZNETSOV G. V., STRIZHAK P. A.
Experimental investigation of initial temperature
for sprayed water influence on the evaporation intensity
at the moving through flame

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

АЛЬМЕНБАЕВ М. М., АСЕЕВА Р. М.,
СЕРКОВ Б. Б., СИВЕНКОВ А. Б.
Влияние лакокрасочных материалов на дымообразующую
способность и токсичность продуктов горения древесины

23

ALMENBAEV M. M., ASEEVA R. M.,
SERKOV B. B., SIVENKOV A. B.
Impact of paints, varnishes and smoke-generation ability
and toxicity of combustion products of wood

АЛЕКСЕЕВ С. Г., СМIRНОВ В. В.,
АЛЕКСЕЕВ К. С., БАРБИН Н. М.
Температура вспышки.

30

ALEXEEV S. G., SMIRNOV V. V.,
ALEXEEV K. S., BARBIN N. M.
Flash point.

Часть III. Методы расчета через температуру кипения

30

Part III. Calculation via a boiling temperature

СОРОКИНА Ю. Н., ЧЕРНИКОВА Т. В., КАЛАЧ А. В.
Влияние структуры молекулы кетонов
на температуру вспышки

44

SOROKINA Yu. N., CHERNIKOVA T. V., KALACH A. V.
Influence of structure molecule of ketones
on flashpoint

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

ХАСАНОВ И. Р., ГРАВИТ М. В., КОСАЧЕВ А. А.,
ПЕХОТИКОВ А. В., ПАВЛОВ В. В.

49

KHASANOV I. R., GRAVIT M. V., KOSACHEV A. A.,
PEKHOTIKOV A. V., PAVLOV V. V.

Гармонизация европейских и российских нормативных
документов, устанавливающих общие требования
к методам испытаний на огнестойкость строительных
конструкций и применению температурных режимов,
учитывающих реальные условия пожара

Harmonization of European and Russian regulatory
documents establishing general requirements
for fire-resistance test methods of building constructions
and the use of temperature curves that take into account
real fire conditions

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

FIRE MODELING

БАРБИН Н. М., ТЕРЕНТЬЕВ Д. И.,
ПЕШКОВ А. В., АЛЕКСЕЕВ С. Г.
Термодинамическое моделирование
поведения радионуклидов при нагреве (сжигании)
радиоактивного графита в атмосфере воздуха

58

BARBIN N. M., TARENTIEV D. I.,
PESHKOV A. V., ALEXEEV S. G.
Thermodynamic modeling of radionuclide behavior
during heating (burning) of radioactive graphite
in the air atmosphere

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

ПОЛАНДОВ Ю. Х., БАБАНКОВ В. А.
Влияние места расположения источника воспламенения
в помещении на развитие взрыва газа

68

POLANDOV Yu. Kh., BABANKOV V. A.
Effect of location source of fire in the room on the development
of gas explosion

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ШАРОВАРНИКОВ А. Ф.
Определение параметров, влияющих на время выброса
нефтепродуктов при горении в резервуаре

76

KOROL'CHENKO D. A., SHAROVARNIKOV A. F.
Parameter determination of the time of oil emission
in a burning tank

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

ТАРАНЦЕВ А. А.
О некоторых положениях статьи “Синтез адаптивного
алгоритма управления ликвидацией лесных пожаров”

82

TARANTSEV A. A.
About some positions of article “Synthesis of the adaptive
control algorithm liquidation of forest fires”

ВОПРОС – ОТВЕТ

86

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.



Семинар "Пожарная безопасность в строительстве"

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)

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

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

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

Меркулов В. А., к. т. н. (Россия)

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

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

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

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

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

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, mail@firepress.ru,

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

Подписано в печать 11.03.2014.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

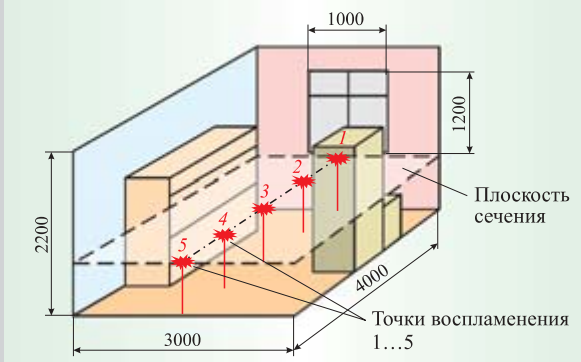
Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.



▲ Стр. 7

◀ Стр. 8

Анализ понятия риска, опасности и безопасности



Влияние места воспламенения на развитие взрыва газа



▲ Стр. 68

◀ Стр. 76

Время выброса нефтепродуктов при горении



▶ Стр. 82

Дискуссия по статье о ликвидации лесных пожаров



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

"Pozharovzryvobezопасnost" ("Fire and Explosion Safety") is included in List of periodical scientific and technical publication of the Russian Federation, what are recommended for publishing the main results of competitors for doctoral degree by VAK, in Abstracting Journal and VINITI Database RAS, is included in Russian Citation Index Database. Information about the journal is annually published in "Ulrich's Periodicals Directory". No part of this publication may be used or reproduced in any form or by any means without the prior permission of the Publishers. Reproducing any part of this material a reference to the journal is obligatory. Authors and advertisers account for contents of given papers and for publishing in the open press. Opinion of Editorial Staff not always coincides with Author's opinion

Signed for printing 11.03.2014
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, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety (Russia)

Leybman M. Ye.,
Honoured Builder of the Russian Federation, Retired Colonel General (Russia)

Merkulov V. A.,
Candidate of Technical Sciences (Russia)

Mishuev A. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences (Russia)

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

Senin N. I.,
Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

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

Puzach C. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of National Academy of Fire Science (Russia)

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)

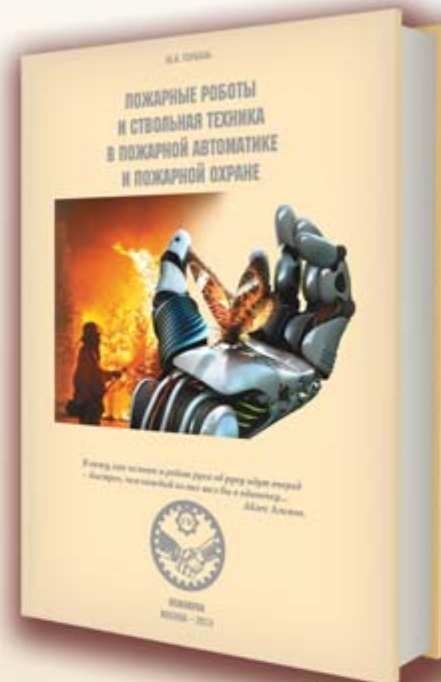
Thomas Jim Shields,
Professor (Great Britain)

Ю. И. ГОРБАНЬ

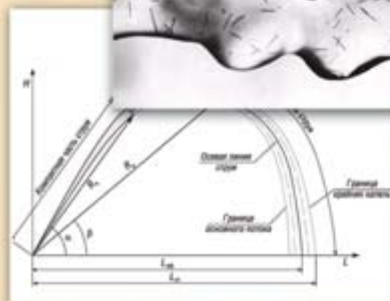
**ПОЖАРНЫЕ РОБОТЫ И СТВОЛЬНАЯ ТЕХНИКА
В ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКЕ И ПОЖАРНОЙ ОХРАНЕ**

М.: Познака, 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, <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 „Познака”

Тел: (495) 228-09-03

e-mail: mail@firepress.ru, <http://www.firepress.ru>



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



Защита
и оборона



Информационные
технологии



Техника
охраны



Средства
спасения



Комплексная безопасность
на транспорте



Безопасность
границы



Экологическая
безопасность



Ядерная
и радиационная безопасность



Медицина
катастроф



Промышленная
безопасность



Постоянно действующий открытый семинар “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ”

23 апреля 2014 г., г. Москва, Россия

Учебно-научный центр проблем пожарной безопасности в строительстве (УНЦ ППБС) Академии Государственной противопожарной службы МЧС России продолжает серию открытых семинаров “Пожарная безопасность в строительстве”. В рамках семинаров намечено обсуждение следующих актуальных проблем:

- Проблемы расчета пожарных рисков. Современные программные расчетные комплексы.
- Современное состояние противопожарного нормирования и перспективы его очередной трансформации.
- Особенности оценки огнестойкости строительных конструкций.
- Проблемы расчета параметров систем противодымной защиты.
- Расчет параметров движения людских потоков в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности с учетом совместной эвакуации людей с нормальной и пониженной мобильностью.
- Особенности разработки специальных технических условий для сложных и уникальных объектов.
- Современные требования по аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий.
- Тенденции корректировки нормативной базы, регулирующей требования к проведению испытаний строительных материалов.

Семинары будут проводиться в здании Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: Москва, ул. Б. Галушкина, 4. За участие в семинаре предусмотрен взнос.

Желающим принять участие в семинаре необходимо заблаговременно сообщить об этом по указанным телефонам или адресам электронной почты. Кроме того, мы с удовольствием рассмотрим ваши предложения по вопросам выступления и формирования тематики будущих семинаров.

Программа семинара № 8 “Проблемы расчета пожарных рисков и современные программные комплексы”

Открытие семинара

Вступительное слово заместителя начальника Академии по научной работе, канд. техн. наук, доцента АЛЕШКОВА М. В. и начальника УНЦ ППБС, д-ра техн. наук, профессора СЕРКОВА Б. Б.

Гносеология моделирования людских потоков

Профессор кафедры ПБС УНЦ ППБС Академии ГПС МЧС России ХОЛЩЕВНИКОВ В. В.

Опыт оценки эвакуационных путей и выходов при приеме законченных строительством объектов в эксплуатацию

Начальник управления пожарной безопасности Мосстройнадзора БЕЛЯЕВ Н. А.

Анализ опыта применения методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях различных классов функциональной пожарной опасности

Начальник отдела моделирования пожаров и нестандартного проектирования ВНИИПО МЧС России УШАКОВ Д. В.

Экспертиза эвакуационных путей и выходов и основные проблемы расчета рисков при рассмотрении проектной документации

Представитель ГАУ г. Москвы “Московская Государственная экспертная экспертиза”

Расчет пожарных рисков с учетом людей с ограниченными возможностями

Доцент кафедры ПБС УНЦ ППБС Академии ГПС МЧС России САМОШИН Д. А.

Методология разработки и использования программного обеспечения для пожарно-технического анализа. Текущее состояние и перспективы

Директор ООО “СИТИС” ГРАЧЕВ В. Ю.

Особенности эвакуации престарелых людей из стационаров социальных учреждений

Преподаватель кафедры ПБС УНЦ ППБС Академии ГПС МЧС России ИСТРАТОВ Р. Н.

Подведение итогов

Заключительное слово начальника УНЦ ППБС, д-ра техн. наук, профессора СЕРКОВА Б. Б.

Оргкомитет семинара:

Председатель — заместитель начальника Академии ГПС по научной работе, канд. техн. наук, доцент АЛЕШКОВ М. В.

Зам. председателя — начальник УНЦ ППБС, д-р техн. наук, проф. СЕРКОВ Б. Б.

Секретарь — заместитель начальника УНЦ ППБС ЗЛОБНОВ П. В.

Секретарь семинара № 8 — доцент УНЦ ППБС, канд. техн. наук САМОШИН Д. А.

Телефон: (495) 617-27-28, 617-27-29

Электронная почта: serkov@antip.ru, antip01@mail.ru

Сайт: <http://www.academygps.ru>

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)

Д. Х. ХАЛИУЛЛИНА, студентка ФГБОУ ВПО “Уфимский государственный нефтяной технический университет” (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

Г. Х. КАШАПОВА, студентка ФГБОУ ВПО “Уфимский государственный нефтяной технический университет” (Россия, Республика Башкортостан, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

УДК 614.841.33

АНАЛИЗ ПОНЯТИЯ РИСКА, ОПАСНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

Рассмотрены понятия опасности и безопасности, включающие в себя понятие риска. Определено понятие “риск” как вероятность опасности, возникающая при определенных действиях человека. Показано, что каждый риск в зависимости от многих обстоятельств и факторов может менять свои значения, т. е. подвержен определенной динамике. Показано также, что человек не способен свести все риски к нулю, но, управляя ситуацией, может уменьшить степень опасности для объекта защиты.

Ключевые слова: риск; оценка пожарного риска; гражданская защита; риск приемлемый; риск индивидуальный; опасность; угроза; безопасность.

*Слова могут быть ветром,
а могут быть опасным сквозняком.*

В. Шекспир

За последние несколько лет в Российской Федерации многое изменилось в области обеспечения пожарной безопасности (ПБ) объектов. Приняты новые важные нормативные правовые акты: федеральные законы № 184 “О техническом регулировании” [1], № 123 “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [2], № 384 “О безопасности зданий и сооружений” [3]. Принятие Технического регламента [2] явилось важнейшим достижением в работе по снятию административных и технических барьеров в области обеспечения ПБ. Введено новое понятие — оценка пожарного риска. Новые нормативные правовые акты Российской Федерации играют важную роль в оценке рисков на объектах защиты: в них установлены допустимые значения пожарного риска; определен целый ряд условий, на основании которых можно принимать решение о проведении оценки пожарного риска. Хотя определений понятия “риск” в нашей литературе достаточно, при расчете риска люди не всегда понимают, что рассчитывают и какой в этом смысл. В связи с этим тема оценки пожарного риска на объектах защиты представляется актуальной.

Для обеспечения безопасности какого-либо объекта защиты необходимо создать условия, чтобы объект мог противостоять угрожающим ему

опасностям. В процессе анализа проблемы пожарной безопасности мы сталкиваемся с двумя основными понятиями — “опасность” и “безопасность”, которые нуждаются в определении. К ним необходимо добавить еще одно понятие — “риск”, вокруг которого в последние десятилетия среди специалистов ведется оживленная полемика.

В специальной литературе, посвященной проблемам безопасности, понятие “опасность”, как правило, вообще не определяется [4]. Только в понятийно-терминологическом словаре “Гражданская защита” [5] дается следующее определение: “Опасность — это возможность нанесения вреда, имущественного (материального), физического или морального (духовного) ущерба личности, обществу и государству”. “Опасность” является одним из основных понятий национальной безопасности наряду с понятиями “вызов”, “риск” и “угроза” и занимает в их иерархии место между *риском* и *угрозой* [5].

Понятие “безопасность” определяется в [5] следующим образом: “Безопасность — состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз”.

Безопасность является важнейшей потребностью человека наряду с его потребностью в пище, воде,

одежде, жилище, информации. Эта общенаучная категория выступает интегральной формой выражения жизнеспособности и жизнестойкости различных объектов конкретного мира во внутренней и внешней политике, обороне, экономике, экологии, социальной политике, информатике, технологии [5]. Таким образом, безопасность — это состояние защищенности любого объекта от любых опасностей.

Однако больше всего вопросов и споров вызывает понятие “риск”. В словаре [5] даны определения понятия “риск” и его производных. Приведем некоторые из них:

“Риск — возможная опасность какой-либо неудачи, возникшая в связи с предпринимаемыми действиями, а также сами действия, при которых достижение желаемого результата связано с такой опасностью”;

“Риск индивидуальный — вероятность или частота возникновения поражающих воздействий определенного вида, возникающих при реализации определенных опасностей”;

“Риск приемлемый — уровень риска, оправданный с точки зрения экономических, социальных и экологических факторов”;

“Риск природный — ожидаемый социально-экономический ущерб от возможного проявления опасного природного процесса или явления”.

В Федеральном законе [1] понятие “риск” определено так: “Риск — вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда”.

В учебном пособии “Основы анализа и управления риском” [6] дается следующее определение: “Риск чрезвычайных ситуаций (ЧС) — количественная мера опасности, равная произведению числа (или вероятности) чрезвычайных ситуаций за год на ожидаемые последствия ЧС”.

В работе О. М. Ковалева [7] понятие “риск” трактуется следующим образом: “Риск — потенциальная опасность реализации техногенных или природных событий с последствиями в виде нанесения вреда здоровью населения или в виде материального ущерба третьим лицам”.

В. А. Акимов с соавт. [6] считают, что “степень опасности угроз и уязвимости отражает уровень риска для социально-экономической системы и ее составляющих. Именно категория риска, под которым понимается прежде всего мера возможной опасности и последствий ее реализации, выраженная в количественной форме, интегрирует оба понятия — опасность и уязвимость — в единое це-

лое”. По их мнению, в рамках рационалистического подхода риск рассматривается как возможность (вероятность) наступления опасного или неблагоприятного события и/или количественной меры такого события (ущерба). При этом сам риск исчисляется путем перемножения вероятности упомянутого события на ущерб.

По мнению д-ра техн. наук Н. Н. Брушлинского [8], риск является мерой возможности реализации конкретной опасности. Поскольку понятие “риск” практически всегда ассоциируется с возможностями каких-либо потерь, утрат (имущества, финансов, здоровья, жизни, репутации и др.) в результате реализации опасности, то в большинстве случаев размеры этих потерь поддаются количественной оценке, могут быть измерены в каких-либо единицах, хотя в ряде ситуаций это сделать не удастся.

Риски можно разделить на качественные, которые нельзя измерить, и количественные, которые измерить можно. “Риск является количественной характеристикой возможности реализации данной опасности” [9].

Каждая опасность может характеризоваться множеством различных рисков, оценивающих ее с разных сторон. Например, с одной стороны оценивается частота реализации опасности, а с другой — характер и размеры последствий этой реализации.

Каждый риск в зависимости от многих обстоятельств и факторов может изменять свои значения, т. е. подвержен определенной динамике.

В связи с этим, выявляя роль отдельных факторов, влияющих на уровень риска, можно попытаться целенаправленно воздействовать на них, т. е. управлять риском. Следовательно, можно в определенной степени управлять опасностью, угрожающей какому-либо объекту защиты (системе), ослабляя тем самым ее негативное воздействие на объект [10].

Однако очевидно, что принципиально невозможно все риски, связанные с тем или иным объектом защиты, свести к нулю. Это объясняется как перманентной неполнотой и относительностью научных представлений об опасностях и рисках, так и ограниченными инженерно-техническими и экономическими возможностями общества. Можно только попытаться уменьшить степень риска до такого уровня, с которым общество вынуждено будет согласиться (т. е. психологически будет готово его принять). Отсюда следует, что абсолютной безопасности (отсутствия всякой опасности) какой-либо системы (объекта защиты) добиться в реальном мире невозможно в принципе. Однако, управляя рисками, мы можем снизить степень опасности для данного объекта защиты, а значит, повысить его безопасность до максимально возможного в современных условиях уровня. Только в этом смысле можно трактовать

вать “состояние защищенности” объекта защиты от угрожающих ему опасностей [11].

Выводы

Таким образом, безопасность — это состояние объекта защиты (системы), при котором значения всех рисков, присущих этому объекту, не превышают их допустимых уровней. При этом понятия

“опасность”, “угроза” и “вызов”, по существу, являются синонимами, отличаясь друг от друга лишь некоторыми смысловыми оттенками.

Все они характеризуются набором рисков, уменьшая значения которых можно достичь допустимого уровня безопасности для конкретного объекта защиты (личности, общества, государства, любой социальной, экономической, технической системы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О техническом регулировании : Федер. закон РФ 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.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
3. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон РФ 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. — № 1, ст. 5.
4. *Брушлинский Н. Н.* Пожарные риски: основные понятия. — М. : Национальная академия наук пожарной безопасности, 2004. — 55 с.
5. *Воробьев Ю. Л.* Гражданская защита. — М. : Центр “Геополитика”, 2001. — 34 с.
6. *Акимов В. А., Лесных В. В., Радаев Н. Н.* Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах : учебное пособие. — М. : Деловой экспресс, 2004. — 51 с.
7. *Ковалевич О. М.* К вопросу об определении “степени риска” // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — М. : ВИНТИ, 2004. — Вып. 1. — С. 32–33.
8. *Брушлинский Н. Н.* О понятии пожарного риска и связанных с ним понятиях // Пожарная безопасность. — 1999. — № 3. — С. 60–65.
9. *Брушлинский Н. Н., Кленко Е. А.* К вопросу о вычислении рисков // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — М. : ВИНТИ, 2004. — Вып. 1. — С. 55–57.
10. *Брушлинский Н. Н.* Пожарные риски: основные понятия. — М. : Национальная академия наук пожарной безопасности, 2008. — С. 55–60.
11. *Брушлинский Н. Н., Шебеко Ю. Н.* Пожарные риски. Вып. 4: Управление пожарными рисками. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2006. — 71 с.

Материал поступил в редакцию 10 декабря 2013 г.

English

ANALYSIS OF CONCEPT OF RISK, DANGER AND SAFETY

BAKIROV I. K., Candidate of Technical Sciences, Associate 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)

KHALIULLINA D. Kh., Student, Ufa State Petroleum Technological University (Kosmonavtov St., 1, Ufa, 450062, Republic Bashkortostan, Russian Federation)

KASHAPOVA G. Kh., Student, Ufa State Petroleum Technological University (Kosmonavtov St., 1, Ufa, 450062, Republic Bashkortostan, Russian Federation)

ABSTRACT

This article gives an analysis of the current state of regulations in the field of fire safety. It was determined that a new concept “fire risk assessment” was introduced. The basic definition of “risk”, “danger”, “security” were considered and them comprehensive analysis was performed.

In the analysis statements of many academics in the field of security at the facilities protection were applied. The questions of risk management, risk, the possibility of nullification of risk and achieve absolute security were considered. It was concluded that in cause of risk management, we can reduce the severity and increase the maximum possible safety of objects.

Keywords: risk; assessment of fire risk; civil protection; risk accepted; risk individual; danger; threat; safety.

REFERENCES

1. On technical regulation. Federal Law on 27.12.2002 No. 184. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2002, no. 245 (in Russian).
2. 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).
3. About safety of buildings and constructions. Federal Law on 30.12.2009 No. 384. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 31.12.2009, no. 255 (in Russian).
4. Brushlinskiy N. N. Pozharnyye riski: osnovnyye ponyatiya [Fire risks: basic concepts]. Moscow, National Academy of Sciences of Fire Safety Publ., 2004. 55 p.
5. Vorobyev Yu. L. Grazhdanskaya zashchita [Civil protection]. Moscow, Geopolitika center, 2001. 34 p.
6. Akimov V. A., Lesnykh V. V., Radaev N. N. Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoy i tekhnogennoy sferakh. Uchebnoye posobiye [Bases of the analysis and management of risk in natural and technogenic spheres: Manual]. Moscow, Delovoy ekspress Publ., 2004. 51 p.
7. Kovalevich O. M. K voprosu ob opredelenii “stepeni riska” [To a question of definition of “risk degree”]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy* [Problems of Safety and Emergency Situations]. Moscow, VINITI, 2004, issue 1, pp. 32–33.
8. Brushlinskiy N. N. O ponyatii pozharnogo riska i svyazannykh s nim ponyatiyakh [About concept of fire risk and related concepts]. *Pozharnaya opasnost — Fire Safety*, 1999, no. 3, pp. 60–65.
9. Brushlinskiy N. N., Klepko E. A. K voprosu o vychislenii riskov [To a question of calculation of risks]. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy* [Problems of Safety and Emergency Situations]. Moscow, VINITI, 2004, issue 1, pp. 55–57.
10. Brushlinskiy N. N. Pozharnyye riski: osnovnyye ponyatiya [Fire risks: basic concepts]. Moscow, National Academy of Sciences of Fire Safety Publ., 2008, pp. 55–60.
11. Brushlinskiy N. N., Shebeko Yu. N. Pozharnyye riski [Fire risks]. Vyp. 4: Upravleniye pozharnymi riskami [Issue 4: Management of fire risks]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2006. 71 p.

Р. С. ВОЛКОВ, ассистент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: romanvolkov@tpu.ru)

Г. В. КУЗНЕЦОВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и промышленной теплотехники Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: kuznetsovgv@tpu.ru)

П. А. СТРИЖАК, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: pavelspa@tpu.ru)

УДК 536.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДЫ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЕЕ ИСПАРЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЧЕРЕЗ ПЛАМЯ

Выполнено экспериментальное исследование влияния начальной температуры распыленной воды на интенсивность ее испарения при движении через пламя. С использованием измерительной системы диагностики двухфазных парожидкостных потоков PIV установлены значения интегральных параметров испарения воды при варьировании размеров капель и их начальной температуры в типичных для практики диапазонах. Показано, что при предварительном подогреве воды можно обеспечить условия для ее полного испарения в зоне горения даже для достаточно крупных капель.

Ключевые слова: распыленная вода; капли; продукты сгорания; пламя; температура; испарение.

Введение

В последние годы активно обсуждаются вопросы повышения эффективности современных технологий пожаротушения. Для их решения предлагаются как новые способы подачи тушащих составов в зону пламени [1–5], так и новые ингибиторы горения (задерживающие, смачивающие, изолирующие и пр.) [6–8]. Результаты численных [9–18] и экспериментальных [19, 20] исследований показали, что для эффективного использования типичного и широко распространенного тушащего вещества — воды для локализации пламени и ликвидации очагов возгораний целесообразно распылять ее специальным образом. Установлено [9–20], что при изменении основных параметров распыления (размеры, скорость и траектории движения совокупности капель) в зоне пламени можно реализовать условия для полного испарения воды без традиционных для современных систем больших избытков тушащего средства (даже такой подход зачастую не обеспечивает ликвидацию очагов возгораний). Рассматривались пламена высотой от 1 до 15 м [9–20]. Как следствие, результаты исследований, приведенные в [9–20], можно распространять не только на офис-

ные системы пожаротушения, но и на системы сбрасывания «водяных снарядов» авиацией в зоны лесных пожаров.

В экспериментах, описанных в [19, 20], основными параметрами, определяющими полноту испарения воды в зоне пламени, являлись характерные размеры капель. Для офисных помещений с высотой этажа до 3 м были сформулированы рекомендации по распылению воды для достижения размеров капель от 70 до 200 мкм [19, 20]. В реальной практике не всегда возможно добиться такой дисперсности капель тушащей жидкости. К тому же полная замена распылителей в рамках даже одного этажа типичного офисного здания представляет собой достаточно затратную процедуру. Целесообразно выделить несколько параметров, изменяя которые можно повысить интенсивность испарения воды в зоне пламени (и, как следствие, эффективность ее использования [19, 20]). Одним из таких параметров, очевидно, можно считать начальную температуру тушащей жидкости. Представляет интерес анализ влияния начальной температуры воды с параметрами распыления, принятыми в [19, 20], на интегральные характеристики ее испарения при движении через зону пламени.

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование влияния начальной температуры распыленной воды на интенсивность ее испарения в процессе движения через пламя фиксированных размеров.

Экспериментальная установка и методы исследований

При проведении экспериментов аналогично [19, 20] использовалась высокоскоростная измерительная система диагностики двухфазных парожидкостных потоков (рис. 1), работающая на базе метода Particle Image Velocimetry (PIV) [21–23]. Основными элементами экспериментальной установки (см. рис. 1) являются: кросскорреляционная видеокамера с форматом изображения 2048×2048 пикселей, кадровой частотой не менее 1,5 Гц, минимальной задержкой между двумя последовательными кадрами не более 5 мкс; двойной импульсный твердотельный лазер с активной сферой “алюмоиттриевый гранат” и добавками неодима, имеющий длину волны 532 нм, энергию в импульсе не менее 70 мДж, длительность импульса не более 12 нс, частоту повторений не более 15 Гц; синхронизирующий процессор с дискретизацией сигналов не более 10 нс, поддерживающий режимы внешнего и внутреннего запуска.

Аналогично [19, 20] в качестве рабочей жидкости в опытах применялась вода с примесью (0,5 %) специальных “трассирующих” частиц — нанопорошка диоксида титана для повышения качества видеogramм, получаемых с кросскорреляционной камеры. В качестве интегральных параметров исследуемого процесса движения распыленной воды через пламя фиксированных размеров приняты ско-

рость движения, размеры и концентрация капель жидкости в рабочей области.

В отличие от условий экспериментов [19, 20] распыляемая вода предварительно нагревалась до заданной температуры T_w с помощью нагревательной системы [24–26]. Температура T_w варьировалась от 293 до 323 К. Выбор такого диапазона обусловлен несколькими причинами. Температура воды, сбрасываемой с помощью авиации в зону горения или подаваемой распылительными системами пожаротушения в офисных помещениях, как правило, составляет 285–295 К [27–29] ($T_w = 293$ К выбрана в качестве нижнего предельного значения). При нагреве воды до 320–325 К в подводящих трубах распылительных систем парообразование будет протекать умеренно ($T_w = 323$ К выбрана в качестве верхнего предельного значения). При более высоких температурах интенсивность фазового перехода достаточно велика. Как следствие, в распылительные системы будет поступать сложная двухфазная неоднородная смесь со слабо контролируемыми параметрами. К тому же для нагрева резервуаров с водой, используемой при тушении пожаров как в офисных системах, так и на воздушных судах, до температур более 325 К потребуется достаточно много энергии.

Аналогично [19, 20] цикл опытов включал две серии экспериментов. В первой серии фиксировались видеокadres потока распыленной рабочей жидкости на входе в цилиндрический канал 13 (высота 1 м, диаметр 0,3 м). Во второй серии регистрировались изображения капель после прохождения ими зоны пламени, т. е. на выходе из канала 13. Для формирования устойчивого пламени использовалось типичное жидкое топливо — керосин, которое

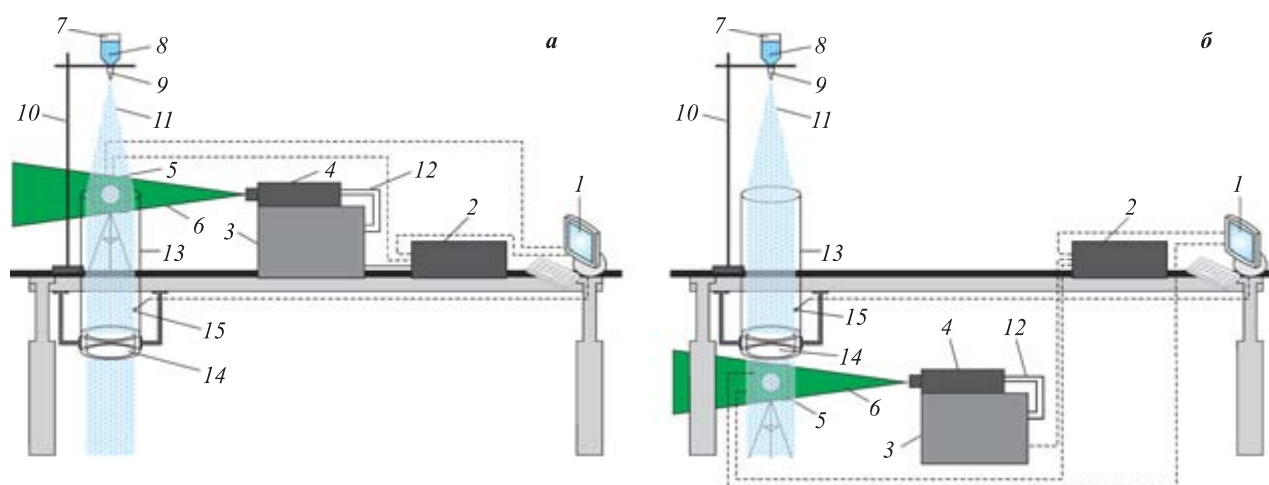


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для видеорегистрации капель до (а) и после (б) прохождения ими зоны пламени: 1 — ПК; 2 — синхронизатор персонального компьютера (ПК), кросскорреляционной камеры и лазера; 3 — генератор лазерного излучения; 4 — двойной твердотельный импульсный лазер; 5 — кросскорреляционная камера; 6 — световой “нож”; 7 — емкость с рабочей жидкостью; 8 — рабочая жидкость; 9 — распылитель; 10 — штатив; 11 — капли рабочей жидкости; 12 — канал движения охлаждающей жидкости лазера; 13 — цилиндр из жаростойкого светопрозрачного материала; 14 — полый цилиндр, во внутреннее пространство которого залита горячая жидкость; 15 — термомпары

заливалось в основание полого цилиндра 14 экспериментальной установки (см. рис. 1).

Каждая серия эксперимента предусматривала несколько этапов:

- емкость 7 (см. рис. 1) заполнялась рабочей жидкостью 8 (H_2O — 99,5 %, TiO_2 — 0,5 %);
- к выходу емкости 7 подключался распылитель 9, который настраивался в зависимости от требуемых параметров распыления жидкости;
- емкость 7 с распылителем 9 устанавливались на штативе 10 на 0,5 м выше верхней грани цилиндра 13 (что обусловлено необходимостью защиты распылителя 9 от плавления при воздействии выходящих из цилиндрического канала 13 высокотемпературных продуктов сгорания);
- высота фотоштатива кросскорреляционной камеры 5, а также высота установки лазера 4 выбирались таким образом, чтобы оптическая ось камеры и плоскость светового “ножа” 6 лазера пересекались под углом 90° , а точка их пересечения находилась в рабочей области;
- проводилась калибровка кросскорреляционной камеры 5 (с определением масштабного коэффициента на персональном компьютере 1), а также настройка “перетяжки” светового “ножа” 6 лазера 4;
- подложка 14 заполнялась небольшим количеством жидкого горючего вещества (около 250 мл), которое затем поджигалось;
- по истечении 5 мин (время, необходимое для прогрева внутренней полости цилиндра 13 до (1070 ± 30) К) на ПК 1 запускалось специализированное программное обеспечение, включался распылитель 9 и проводилась процедура регистрации видеogramм в выбранной рабочей области;
- по полученным в ходе съемки видеокладрам строились поля скоростей “трассирующих” частиц распыленной жидкости и вычислялись значения характерных размеров капель в рабочей области (до и после прохождения ими зоны пламени).

При обработке видеокладров с применением метода цифровой трассерной визуализации PIV [21–23] строились поля скоростей “трассирующих” частиц и определялись скорости движения отдельных капель. Измерение мгновенного поля скорости в заданном сечении основано на измерении перемещения частиц примеси, находящихся в плоскости сечения, за фиксированный интервал времени [21–23].

Измерительной областью потока считалась плоскость “светового ножа” лазера (см. рис. 1). Частицы в измерительной плоскости потока многократно освещались. Образы частиц регистрировались на циф-

ровую камеру. Последующая обработка изображений позволяла рассчитать смещения частиц за время между вспышками источника света и построить поля скоростей “трассирующих” частиц [21–23].

При обработке видеogramм рассчитывался масштабный коэффициент S (мм/пикс), который для исследуемой рабочей области (на входе и выходе канала с пламенем) составлял 0,0043 мм/пикс. При обработке видеogramма разбивалась на расчетные области размером 32×32 пикс, для каждой из которых рассчитывалась корреляционная функция. Максимум корреляционной функции соответствовал наиболее вероятному сдвигу частиц в рабочей области [21–23]. При этом в общем случае предполагалось, что скорость потока в элементарной области неизменна и у всех частиц одинаковые перемещения, т. е. у корреляционной функции существует один наиболее ярко выделенный максимум на фоне возможных шумов.

Одновременно с нахождением максимума корреляционной функции для уменьшения числа случайных корреляций, связанных с эффектом “потери пары”, применялось наложенное “top-hat” окно [18], что позволило уменьшить вклад в корреляционную функцию частиц, находящихся близко к границам расчетной области видеокладра.

В потоке распыленной жидкости размеры капель изменялись в диапазоне $0,09 \leq R \leq 0,37$ мм. Размеры капель в расчетных областях видеogramм (до и после прохождения зоны пламени) определялись по следующей методике. Выбиралась видеogramма (пара кадров кросскорреляционной камеры). По первому видеокладру для выбранной произвольно капли жидкости определялись ее максимальные размеры (в пикселях) в горизонтальном (D_{x1}) и вертикальном (D_{y1}) направлениях, после чего проводилось их усреднение: $D_1 = (D_{x1} + D_{y1})/2$. Те же процедуры выполнялись для второго видеоизображения из пары кадров ($D_2 = (D_{x2} + D_{y2})/2$) с последующим усреднением размера капли: $D_p = (D_1 + D_2)/2$. Затем при известном (заданном) масштабном коэффициенте S осуществлялся расчет характерного размера D_d (мм) ($D_d = D_p S$) и соответствующих значений средних условных радиусов капель R_m .

Температура продуктов сгорания в цилиндрическом канале 13 контролировалась хромель-алюмелевыми, а начальная температура распыляемой воды — хромель-копелевыми термopарами 15. Использовалась методика термopарных измерений [30]. Погрешности определения размеров капель согласно методикам [31, 32] составляли 0,001 мм. Погрешности измерения скоростей капель не превышали 2 % [21–23].

Результаты эксперимента и их обсуждение

При проведении серии экспериментов в соответствии с описанной выше методикой регистрировались видеоизображения совокупности капель распыленной воды на входе и выходе из рабочего канала (зоны пламени). На рис. 2 приведены типичные видеogramмы и поля скоростей “трассирующих” частиц при начальной температуре потока распыленной жидкости $T_w = 293$ К.

По аналогии с [19, 20] при обработке видеogramм в рабочей области капли распыленной жидкости были разделены по начальным размерам на несколько групп: 1 — при $0,09 \leq R \leq 0,16$ мм, 2 — при $0,16 < R \leq 0,23$ мм, 3 — при $0,23 < R \leq 0,30$ мм, 4 — при $0,30 < R \leq 0,37$ мм. Для каждой из этих групп определялись средние значения доли испарившейся жидкости (для чего введен параметр ΔR (%), характеризующий изменение размеров капель при движении через пламя ($\Delta R = (R_{in} - R_{out})/R_{in} \cdot 100$)), скорости движения v и концентрации водяных капель α в рабочей области (на входе и выходе из зоны горения).

Из рис. 2, б видно, что концентрация капель жидкости на выходе из зоны пламени существенно меняется относительно концентрации на входе (рис. 2, а). Малые капли ($0,09 \leq R \leq 0,16$ мм) практически полностью испаряются (как следствие, скорости их движения v близки к нулю). Средних капель ($0,16 < R \leq 0,30$ мм) испаряется 30–40 % (значения v уменьшаются на 35–40 % по сравнению со скоростью движения на входе в канал с пламенем), больших ($0,30 < R \leq 0,37$ мм) — 15–20 % (скорости их движения снижаются на 12–17 %). Установленные закономерности хорошо коррелируют с результатами экспериментов [19, 20].

На рис. 3 представлены зависимости параметра ΔR от усредненного характерного размера капель распыленного потока R_m при варьировании начальной температуры жидкости от 293 до 323 К. Из рис. 3 видно, что с повышением T_w значения параметра ΔR существенно увеличиваются (возрастает интенсивность парообразования в зоне пламени). Важно также отметить, что при увеличении T_w кривые 1–4 несколько сближаются (см. рис. 3). Эта особенность показывает, что с повышением начальной температуры жидкости интегральные характеристики ее испарения меняются достаточно умеренно при варьировании параметров распыления.

Получены также зависимости параметра ΔR для выделенных групп капель от начальной температуры распыленной жидкости (рис. 4). Следует отметить более существенное влияние температуры T_w на интенсивность испарения малых капель ($R_m \leq 0,16$ мм). Это особенно хорошо видно по наклону кривой 1

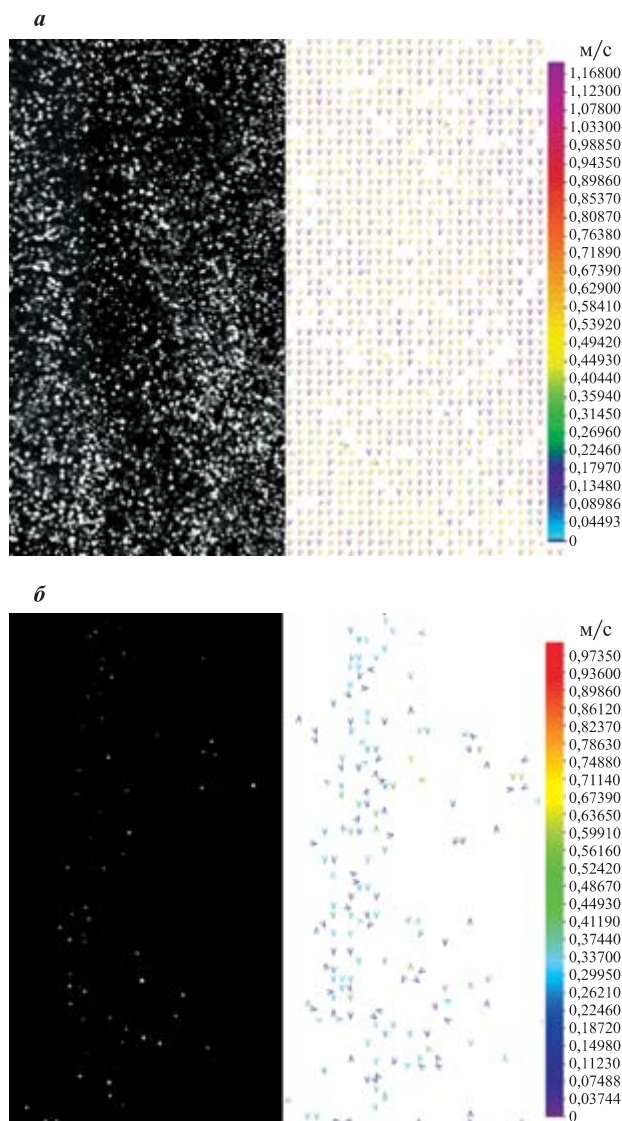


Рис. 2. Видеogramмы и поля скоростей капель распыленной жидкости на входе (а) и выходе (б) из зоны пламени при $T_w = 293$ К

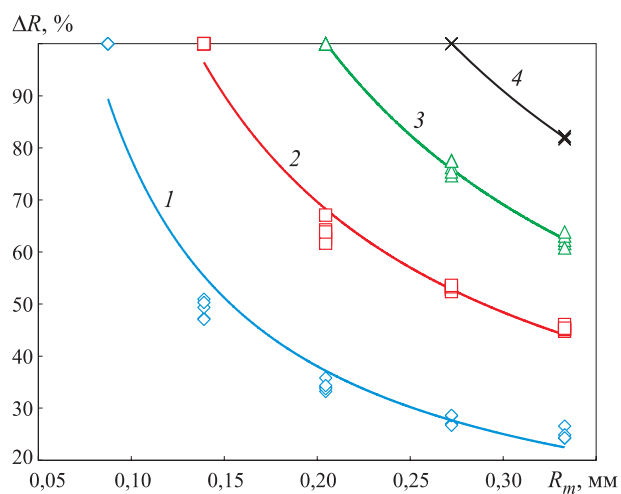


Рис. 3. Зависимости параметра ΔR от начального размера капель при температуре T_w : 1 — 293 К; 2 — 303 К; 3 — 313 К; 4 — 323 К

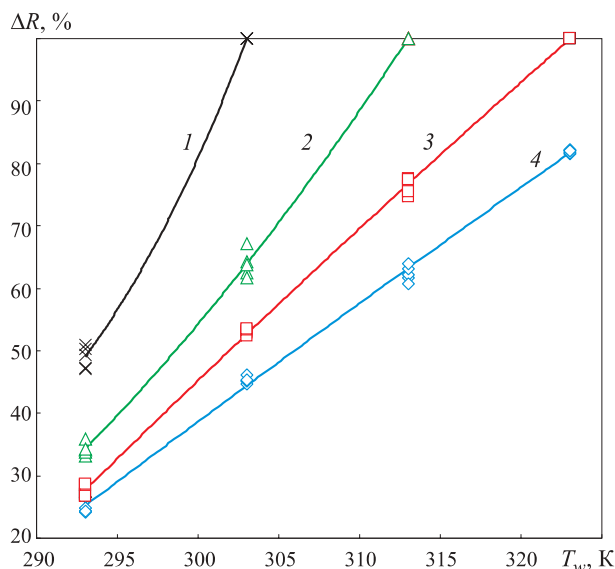


Рис. 4. Зависимости параметра ΔR от начальной температуры распыленной жидкости для выделенных групп капель: 1 — $0,09 \leq R \leq 0,16$ мм; 2 — $0,16 < R \leq 0,23$ мм; 3 — $0,23 < R \leq 0,30$ мм; 4 — $0,30 < R \leq 0,37$ мм

(см. рис. 4). Установленную закономерность можно объяснить, используя теоретические следствия [33]. В процессе испарения жидкости определяющую роль [33] играет время прогрева ее приповерхностного слоя до температур, при которых реализуются условия интенсивного парообразования. Вследствие эндотермического фазового перехода температура вблизи поверхности жидкости снижается. Для предварительно нагретых капель воды (особенно для малых — $R_m \leq 0,16$ мм) это снижение температуры невелико. Для относительно крупных капель ($R_m > 0,3$ мм) в зависимости от значения T_w уменьшение температуры играет важную роль (несмотря на высокие температуры внешней среды (пламени) — до 1170 К). Поэтому при $R_m \leq 0,16$ мм доля испарившейся жидкости существенно (в несколько раз) меняется при повышении T_w на 10 К (кривая 1 на рис. 4).

Для приведенных на рис. 3 и 4 зависимостей получены аппроксимационные выражения, которые можно использовать при прогностической оценке доли испарившейся жидкости в зоне пламени при различных начальных значениях ее температуры и параметрах распыления:

- $\Delta R = 7,22R_m^{-1,033}$ при $0,09 < R_m < 0,34$ мм, $T_w = 293$ К;
- $\Delta R = 16,47R_m^{-0,896}$ при $0,14 < R_m < 0,34$ мм, $T_w = 303$ К;
- $\Delta R = 21,53R_m^{-0,969}$ при $0,21 < R_m < 0,34$ мм, $T_w = 313$ К;
- $\Delta R = 27,75R_m^{-0,985}$ при $0,27 < R_m < 0,34$ мм, $T_w = 323$ К;

- $\Delta R = 10^{-51} T_w^{21,293}$ при $0,09 \leq R_m \leq 0,16$ мм, $293 < T_w < 323$ К;
- $\Delta R = 0,032T_w^2 - 16,432T_w + 2055,12$ при $0,16 < R_m \leq 0,23$ мм, $293 < T_w < 323$ К;
- $\Delta R = -0,004T_w^2 + 5,119T_w - 1094,21$ при $0,23 < R_m \leq 0,30$ мм, $293 < T_w < 323$ К;
- $\Delta R = -0,002T_w^2 + 3,067T_w - 708,58$ при $0,30 < R_m \leq 0,37$ мм, $293 < T_w < 323$ К.

Полученные при проведении численных исследований результаты (см. рис. 3 и 4) показывают, что заданной доли испарившейся жидкости в зоне горения можно достичь как за счет измельчения капель, так и путем их предварительного нагрева. При варьировании параметров T_w и R_m в указанных выше диапазонах можно обеспечить требуемую концентрацию капель α в зоне пламени (от 0 до 100 %) и снизить скорость их движения в области горения v (от начальной до 0 м/с).

Таким образом, можно рекомендовать при отсутствии возможности измельчения капель тушащего средства, например, офисной системой распыления до рекомендованных в [19, 20] десятков микрометров (для воды) организовать предварительный подогрев тушащей жидкости. Предварительные оценки показывают, что при наличии в зданиях типичных систем горячего водоснабжения и отопления реализовать нагрев тушащих составов в соответствующих емкостях до рассматриваемых значений T_w не представляет большой сложности. Для воздушных судов (самолетов и вертолетов), применяемых для тушения лесных пожаров, очевидно, целесообразно использовать для подогрева сбрасываемых жидкостных “снарядов” энергию тепловыделяющих элементов двигательной системы.

Заключение

В результате экспериментальных исследований установлено, что при предварительном нагреве воды, распыляемой в зоне горения, до 323 К можно существенно повысить интенсивность ее испарения (и, как следствие, эффективность ее использования [19, 20]). Выявлены значения T_w , при которых параметр ΔR , характеризующий полноту испарения воды, достигает максимальных значений и для достаточно крупных капель ($R > 200$ мкм). Сформулированные аппроксимационные выражения $\Delta R = f(R)$ для нескольких типичных температур T_w позволяют вычислить основные параметры распыления воды для локализации пламен с различными параметрами.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 13-08-90703).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сокоиков В. В., Тугов А. Н., Гришин В. В., Камышев В. Н. Автоматическое водяное пожаротушение с применением тонкораспыленной воды на электростанциях // Энергетик. — 2008. — № 6. — С. 37–38.
2. Копылов Н. П., Чибисов А. Л., Душкин А. Л., Кудрявцев Е. А. Изучение закономерностей тушения тонкораспыленной водой модельных очагов пожара // Пожарная безопасность. — 2008. — № 4. — С. 45–58.
3. Корольченко Д. А., Громовой В. Ю., Ворогушин О. О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 54–57.
4. Андрюшкин А. Ю., Пелех М. Т. Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 64–69.
5. Ковалев А. Н., Журавлева Л. А. Перспективные направления тушения низовых лесных и степных пожаров // Научная жизнь. — 2012. — № 4. — С. 153–157.
6. Богданова В. В., Кобец О. И. Исследования огнезащитной эффективности составов на основе аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов в зависимости от условий получения // Вестник БГУ. Сер. 2. — 2009. — № 1. — С. 34–39.
7. Богданова В. В., Кобец О. И., Людко А. А., Курлица В. П. Оптимизация огнезащитно-огнетушащих свойств состава для предотвращения и локализации пожаров в природном комплексе методом математического планирования эксперимента // Вестник КИИ МЧС РБ. — 2012. — Т. 15, № 1. — С. 32–39.
8. Богданова В. В., Кобец О. И., Людко А. А. Разработка синтетических составов комплексного действия для огнезащиты и тушения природных горючих материалов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. — 2012. — Т. 31, № 1. — С. 53–61.
9. Андреев Г. Г., Глушков Д. О., Панин В. Ф., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при взаимодействии диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Бутлеровские сообщения. — 2012. — Т. 31, № 8. — С. 86–94.
10. Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование тепломассопереноса при движении “тандема” капель воды в высокотемпературной газовой среде // Тепловые процессы в технике. — 2012. — Т. 4, № 12. — С. 531–538.
11. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численная оценка оптимальных размеров капель воды в условиях ее распыления средствами пожаротушения в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 74–78.
12. Стрижак П. А. Численное исследование условий испарения совокупности капель воды при движении в высокотемпературной газовой среде // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 26–31.
13. Волков Р. С., Высокоморная О. В., Стрижак П. А. Численное исследование условий взаимодействия диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Безопасность труда в промышленности. — 2012. — № 10. — С. 74–79.
14. Стрижак П. А. Численный анализ процесса испарения капли, движущейся в струе воды через высокоскоростные продукты сгорания // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 17–23.
15. Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при движении капель воды в высокотемпературной газовой среде // Инженерно-физический журнал. — 2013. — Т. 86, № 1. — С. 59–65.
16. Жданова А. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние распределения капель воды в “водяном снаряде” на температуру в его следе // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 9–17.
17. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Влияние формы капли воды на результаты математического моделирования ее испарения при движении через высокотемпературные продукты сгорания // Тепловые процессы в технике. — 2013. — Т. 5, № 6. — С. 254–261.
18. Стрижак П. А. Численный анализ диффузионно-конвективных процессов тепломассопереноса при движении капель воды через высокотемпературные продукты сгорания // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 7. — С. 11–21.
19. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. О некоторых физических закономерностях испарения распыленной воды при движении через высокотемпературные продукты сгорания // Известия Томского политехнического университета. — 2013. — Т. 322, № 6. — С. 45–52.

20. Волков Р. С., Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Экспериментальное исследование закономерностей испарения тонкораспыленной воды при движении через высокотемпературные продукты сгорания // Бутлеровские сообщения. — 2013. — Т. 35, № 9. — С. 38–46.
21. Keane R. D., Adrian R. J. Theory of cross-correlation analysis of PIV images // Applied Scientific Research. — 1992. — Vol. 49. — P. 191–215.
22. Westerweel J. Fundamentals of digital particle image velocimetry // Measurement Science and Technology. — 1997. — Vol. 8. — P. 1379–1392.
23. Foucaut J. M., Stanislas M. Some considerations on the accuracy and frequency response of some derivative filters applied to particle image velocimetry vector fields // Measurement Science and Technology. — 2002. — Vol. 13. — P. 1058–1071.
24. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Зажигание жидкого пожароопасного вещества одиночной “горячей” металлической частицей // Известия вузов. Физика. — 2007. — № 9/2. — С. 90–95.
25. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Зажигание дизельного топлива одиночной “горячей” металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 28–30.
26. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. О механизме зажигания бензина одиночной нагретой до высоких температур металлической частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 39–42.
27. Щетинский Е. А. Тушение лесных пожаров. — М. : ВНИИЛМ, 2002. — 104 с.
28. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
29. Баратов А. Н. Горение – Пожар – Взрыв – Безопасность. — М. : ФГУП ВНИИПО МЧС России, 2003. — 364 с.
30. Полежаев Ю. В., Юрьевич Ф. Б. Тепловая защита. — М. : Энергия, 1976. — 391 с.
31. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. — М. : Мир, 1972. — 381 с.
32. Зайдель А. Н. Элементарные оценки ошибок измерений / Академия наук СССР. — 3-е изд., испр. и доп. — Л. : Наука, 1968. — 96 с.
33. Zakharevich A. V., Strizhak P. A. Analyzing the characteristic times of physical-chemical processes running at ignition of a liquid condensed substance under local heating // Journal of Engineering Thermophysics. — 2013. — Vol. 22, No. 2. — P. 157–168.

Материал поступил в редакцию 23 сентября 2013 г.

English

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF INITIAL TEMPERATURE FOR SPRAYED WATER INFLUENCE ON THE EVAPORATION INTENSITY AT THE MOVING THROUGH FLAME

VOLKOV R. S., Assistant of Automation Thermal and Power Processes Department, Institute of Power Engineering of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: romanvolkov@tpu.ru)

KUZNETSOV G. V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of Theoretical and Industrial Heat Engineering Department, Institute of Power Engineering of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: kuznetsovgv@tpu.ru)

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

ABSTRACT

The article presents scheme, technique and results of experimental investigation of initial temperature for sprayed water influence on the evaporation intensity at movement through the flame with fixed height. The modern high-speed measuring system of two-phase vapor-liquid streams diagnostics

on the basis of Particle Image Velocimetry (PIV) method is used for the recording and processing of video frames. It is established that the measurement errors of liquid droplet sizes are no more than 0.001 mm, speed of the combustion products and water drops — 2 %.

Video frames and the velocities fields of the sprayed liquid drops groups (water with “tracing” of the titan dioxide nanopowder particles) on an inlet and outlet of a high-temperature combustion products zone are provided. Limit changes of the drops sizes and speeds at movement through a flame are established. Essential influence of the sprayed liquid initial temperature on completeness of its evaporation at moving through the flame with fixed height is shown.

The approximating expressions allowing to determine the optimal parameters of liquid dispersion at the flames localization for different initial temperatures are formulated.

Keywords: sprayed water; drops; combustion products; flame; temperature; evaporation.

REFERENCES

1. Sokovikov V. V., Tugov A. N., Grishin V. V., Kamyshev V. N. Avtomaticheskoye vodyanoye pozharotusheniye s primeneniym tonkoraspylennoy vody na elektrostantsiyakh [Automatic water fire extinguishing with using of sprayed water at power plants]. *Energetic — Power Engineer*, 2008, no. 6, pp. 37–38.
2. Kopylov N. P., Chibisov A. L., Dushkin A. L. Izucheniye zakonornostey tusheniya tonkoraspylennoy vodoy modelnykh ochagov pozhara [Studying of suppression regularities by sprayed water of model fire seats]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2008, no. 4, pp. 45–58.
3. Korol’chenko D. A., Gromovoy V. Yu., Vorogushin O. O. Primeneniye tonkoraspylennoy vody dlya tusheniya pozharov v vysotnykh zdaniyakh [Fire extinguishing in tall buildings by using water mist systems]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 54–57.
4. Andryushkin A. Yu., Pelekh M. T. Effektivnost pozharotusheniya tonkoraspylennoy vodoy [Efficiency of the stewing fire by sprayed water]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere — Problems of Technosphere Risk Management*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 64–69.
5. Kovalev A. N., Zhuravleva L. A. Perspektivnyye napravleniya tusheniya nizovykh lesnykh i stepnykh pozharov [Perspective directions of the ground forest and steppe fires firefighting]. *Nauchnaya zhizn — Scientific Life*, 2012, no. 4, pp. 153–157.
6. Bogdanova V. V., Kobets O. I. Issledovaniya ognezashchitnoy effektivnosti sostavov na osnove ammoniynykh fosfatov dvukh- i trekhvalentnykh metallov v zavisimosti ot usloviy polucheniya [Researches of the structures fireproof efficiency on the basis of ammonium phosphates of two- and trivalent metals depending on receiving conditions]. *Vestnik BGU — Bulletin of Belarusian State University*, series 2, 2009, no. 1, pp. 34–39.
7. Bogdanova V. V., Kobets O. I., Lyudko A. A., Kirlitsa V. P. Optimizatsiya ognezashchitno-ognetushashchikh svoystv sostava dlya predotvrashcheniya i lokalizatsii pozharov v prirodnom komplekse metodom matematicheskogo planirovaniya eksperimenta [Optimization of structure fireproof and extinguishing properties for prevention and localization of fires in a natural complex by the method of mathematical experiment planning]. *Vestnik KII MCHS RB — Herald of Institute for Command Engineers of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus*, 2012, vol. 15, no. 1, pp. 32–39.
8. Bogdanova V. V., Kobets O. I., Lyudko A. A. Razrabotka sinteticheskikh sostavov kompleksnogo deystviya dlya ognezashchity i tusheniya prirodnnykh goryuchikh materialov [Development of complex action synthetic structures for fire protection and suppression of natural combustible materials]. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye, likvidatsiya — Emergency Situations: Prevention, Elimination*, 2012, vol. 31, no. 1, pp. 53–61.
9. Andreev G. G., Glushkov D. O., Panin V. F., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri vzaimodeystvii dispergirovannogo flegmatizatora gorennya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Heat and mass transfer in the interaction of the dispersed burning phlegmatizer with high-temperature combustion products]. *Butlerovskiye soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2012, vol. 31, no. 8, pp. 86–94.
10. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye teplomassoperenosa pri dvizhenii “tandema” kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical research of heat-and-mass transfer at movement of water drops “tandem” in the high temperature gas mixture]. *Teplovyie protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Engineering*, 2012, vol. 4, no. 12, pp. 531–538.

11. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennaya otsenka optimalnykh razmerov kapel vody v usloviyakh yeye raspilyeniya sredstvami pozharotusheniya v pomeshcheniyakh [Numerical estimation of optimum sizes for water drops at the conditions of its dispersion by firefighting devices at placements]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 74–78.
12. Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy ispareniya sovokupnosti kapel vody pri dvizhenii v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical investigation of evaporation conditions for set of water drops at the moving after high temperature gas mixture]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 26–31.
13. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy vzaimodeystviya dispergirivannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Numerical investigation of interaction conditions of the dispersed burning phlegmatizator with high temperature combustion products]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety of Work in Industry*, 2012, no. 10, pp. 74–79.
14. Strizhak P. A. Chislennyy analiz protsessa ispareniya kapli, dvizhushcheyasya v struye vody cherez vysokoskorostnyye produkty sgoraniya [Numerical analysis of evaporation process for droplet moving at the water jet through high temperature combustion products]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 17–23.
15. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri dvizhenii kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Heat-and-mass transfer at water drops movement in the high-temperature gas mixture]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 59–65.
16. Zhdanova A. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye raspredeleniya kapel vody v “vodyanom snaryade” na temperaturu v yego slede [Influence of water droplets distribution in the “water shell” on temperature in follow movement]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 9–17.
17. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Vliyaniye formy kapli vody na rezultaty matematicheskogo modelirovaniya yeye ispareniya pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [Influence of a water drop form on a mathematical modeling results of its evaporation at movement through high-temperature combustion products]. *Teplovyye protsessy v tekhnike — Thermal Processes in Engineering*, 2013, no. 6, pp. 254–261.
18. Strizhak P. A. Chislennyy analiz diffuzionno-konvektivnykh protsessov teplomassoperenosa pri dvizhenii kapel vody cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [The numerical analysis of diffusive and convective heat-and-mass transfer processes for water drops at movement through high-temperature combustion products]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 7, pp. 11–21.
19. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. O nekotorykh fizicheskikh zakonmernostyakh ispareniya raspilyennoy vody pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [About some physical evaporation regularities of the sprayed water at movement through high-temperature combustion products]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 322, no 6, pp. 45–52.
20. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Eksperimentalnoye issledovaniye zakonmernostey ispareniya tonkoraspilyennoy vody pri dvizhenii cherez vysokotemperaturnyye produkty sgoraniya [Experimental research of evaporation regularities for pulverized water moving through high-temperature combustion products]. *Butlerovskiyee soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2013, vol. 35, no. 9, pp. 38–46.
21. Keane R. D., Adrian R. J. Theory of cross-correlation analysis of PIV images. *Applied Scientific Research*, 1992, vol. 49, pp. 191–215.
22. Westerweel J. Fundamentals of digital particle image velocimetry. *Measurement Science and Technology*, 1997, vol. 8, pp. 1379–1392.
23. Foucaut J. M., Stanislas M. Some considerations on the accuracy and frequency response of some derivative filters applied to particle image velocimetry vector fields. *Measurement Science and Technology*, 2002, vol. 13, pp. 1058–1071.
24. Kuznetsov G. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye zhidkogo pozharoопасnogo veshchestva odinochnoy “goryachey” metallicheskoй chastitsey [Ignition of liquid fire-dangerous substance by a single “hot” metal particle]. *Izvestiya vuzov. Fizika — News of Higher Education Institutions. Physics*, 2007, no. 9/2, pp. 90–95.

25. Kuznetsov G. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye dizelnogo topliva odinochnoy “goryachey” metallicheskoy chastitsey [Ignition of diesel fuel by a single “hot” metal particle]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 4, pp. 28–30.
26. Kuznetsov G. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I. O mekhanizme zazhiganiya benzina odinochnoy nagretoy do vysokikh temperatur metallicheskoy chastitsey [About the mechanism of gasoline ignition by the single metal particle heated to high temperatures]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 5, pp. 39–42.
27. Shchetinskiy Ye. A. *Tusheniye lesnykh pozharov* [Suppression of forest fires]. Moscow, Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM) Publ., 2002. 104 p.
28. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Forecast of forest fires emergence and their ecological consequences]. Novosibirsk, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2009. 301 p.
29. Baratov A. N. *Goreniye – Pozhar – Vzryv – Bezopasnost* [Burning – Fire – Explosion – Safety]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2003. 364 p.
30. Polezhaev Yu. V., Yuryevich F. B. *Teplovaya zashchita* [Thermal protection]. Moscow, Energiya Publ., 1976. 391 p.
31. Shenk Kh. *Teoriya inzhenernogo eksperimenta* [Theory of engineering experiment]. Moscow, Mir Publ., 1972. 381 p.
32. Zaydel A. N. *Elementarnyye otsenki oshibok izmereniy* [Simple estimates of measurement errors]. The Academy of Sciences of the USSR. Leningrad, Nauka Publ., 1968. 96 p.
33. Zakharevich A. V., Strizhak P. A. Analyzing the characteristic times of physical-chemical processes running at ignition of a liquid condensed substance under local heating. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 157–168.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

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



М. М. АЛЬМЕНБАЕВ, адъюнкт кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129301, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: make_kz1986@mail.ru)

Р. М. АСЕЕВА, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129301, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: rm-aseeva@yandex.ru)

Б. Б. СЕРКОВ, д-р техн. наук, профессор, начальник учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129301, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: serkov@antip.ru)

А. Б. СИВЕНКОВ, канд. техн. наук, доцент, ученый секретарь Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 129301, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: sivenkov01@mail.ru)

УДК 699.8:667

ВЛИЯНИЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ДЫМООБРАЗУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И ТОКСИЧНОСТЬ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Представлены результаты экспериментальной оценки влияния различных видов лакокрасочных материалов на дымообразующую способность и токсичность продуктов горения древесины. Установлено, что химическая природа лакокрасочных систем в значительной мере влияет на пожароопасные свойства древесины, в частности на дымообразующую способность и образование токсичных продуктов горения. Результаты, полученные в работе, позволяют выбрать наиболее эффективные подходы и решения по снижению пожарной опасности деревянных конструкций с лакокрасочными материалами, а также обеспечить их пожаробезопасное применение в строительстве.

Ключевые слова: древесина; лакокрасочные материалы; пожарная опасность; дымообразующая способность; токсичность продуктов горения.

Введение

Древесина традиционно широко применяется в зарубежной и отечественной практике строительства. Этот ценнейший природный материал используется в малоэтажном домостроении, а также в качестве строительного материала для несущих и ограждающих деревянных конструкций [1].

При строительстве зданий различного функционального назначения проводятся работы по отделке строительных конструкций лакокрасочными материалами (ЛКМ), которые эффективно обеспечивают их защиту от внешних воздействий, а также улучшают декоративно-эстетический вид.

На сегодняшний день индустрия лакокрасочных материалов для древесины насчитывает большое количество базовых рецептур лаков и красок, широко используемых в строительстве. В их числе такие, как нитроцеллюлозные, полиуретановые, алкидные, акриловые и другие лакокрасочные материалы. По своему назначению они широко востребованы в области строительства для обеспечения атмосфероустойчивости, водостойкости, химической стойкости, термостойкости деревянных

строительных материалов и конструкций. Однако необходимо учитывать тот факт, что ЛКМ не только обладают защитными функциями, но и могут значительно повысить пожарную опасность древесины, в частности дымообразующую способность и токсичность продуктов горения. Это объясняется наличием в составе ЛКМ таких горючих компонентов, как пластификаторы, растворители, отвердители, пигменты и многочисленные виды наполнителей [2]. К сожалению, вопрос о влиянии различных лакокрасочных материалов на пожароопасные свойства древесины остается практически не изученным. Отсутствуют классификационные требования пожаробезопасного применения ЛКМ для объектов деревянного домостроения (коттеджное строительство, таунхаусы и т. д.), а также для зданий и сооружений, строительство которых ведется с применением индустриальных несущих и ограждающих конструкций на основе древесины.

В связи с вышеизложенным в настоящей работе была поставлена цель исследовать влияние лаков и красок, имеющих различную химическую основу и используемых для отделки деревянных строитель-

ных материалов и конструкций, на дымообразующую способность и токсичность продуктов горения древесины.

Объекты и методы исследования

Для исследования были выбраны зарубежные и отечественные лакокрасочные системы (далее — ЛКС), разные по своей химической природе, применяемые как для внешней (наружной), так и для внутренней отделки материалов и конструкций на основе древесины. Для подготовки образцов к испытаниям лаки и краски наносили на поверхность древесины в три слоя с расходом, рекомендованным производителями лакокрасочной продукции. Условную вязкость определяли с помощью вискозиметра ВЗ-246 по времени истечения ЛКМ через насадки соответствующего диаметра. Характеристики исследуемых лакокрасочных систем и значения расходов их нанесения на поверхность древесины представлены в табл. 1.

Для исследования пожароопасных свойств древесины с покрытием из лакокрасочных материалов были использованы метод экспериментального

определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов и метод экспериментального определения показателя токсичности продуктов горения полимерных материалов соответственно по пп. 4.18 и 4.20 ГОСТ 12.1.044–89* [3]. Условия подготовки образцов для огневых испытаний соответствовали требованиям указанных пожарно-технических методов.

Испытания проводились в режиме беспламенного (тлеющего) горения древесины без применения дополнительного источника зажигания. Из опыта экспериментальных исследований пожароопасных свойств древесины и материалов на ее основе считается, что для данного режима характерно наибольшее дымообразование и выход токсичных продуктов горения [1, 4, 5].

Обсуждение результатов исследования

В условиях пожара выделяется большое количество дыма и токсичных продуктов горения, что представляет реальную угрозу для жизни и здоровья людей. Древесина и материалы на ее основе относятся к материалам карбонизирующегося типа,

Таблица 1. Характеристики исследуемых лакокрасочных систем и общий расход нанесения их на поверхность древесины

Номер ЛКС	Назначение ЛКС	Химическая основа ЛКС	Общий расход, г/м ²	Условная вязкость, с
1	Наружная отделка — покрытие стен	Алкидная основа	83	67
2	Наружная отделка — покрытие стен	Алкидная основа с водоотталкивающими добавками	101	33
3	Наружная отделка — покрытие настилов пола террас, балконов, лестничных проступей	Алкидная основа с водоотталкивающими добавками	160	12
4	Наружная отделка — покрытие стен в промышленном строительстве	Акрилалкидная основа	122	12
5	Внутренняя отделка — покрытие стен	Водная основа на полиуретановой дисперсии	240	20
6	Внутренняя отделка — покрытие стен и потолков влажных помещений	Акрилалкидная основа и водная основа на полиуретановой дисперсии	188	12
7	Внутренняя отделка — покрытие пола	Полиуретаноалкидная основа	78	63
8	Внутренняя и наружная отделка	Композиция на основе алкидных смол с добавлением сиккатива	110	40–60
9	Внутренняя и наружная отделка	Раствор лакового коллоксилина в смеси органических растворителей с добавками пластификаторов (нитроцеллюлозная основа)	94	60–100
10	Внутренняя отделка — покрытие мебели и деревянных предметов	Раствор лакового коллоксилина, смол и пластификаторов в смеси летучих органических растворителей (нитроцеллюлозная основа)	95	50–85
11	Внутренняя отделка — покрытие пола	Суспензия пигментов в алкидном лаке с добавлением сиккатива и растворителя	102	70–100
12	Натуральная древесина сосны плотностью 450–500 кг/м ³ и влажностью 8–12 %	–	–	–

способным в условиях пожара выделять значительное количество дымовых частиц и токсичных продуктов разложения и горения. Основной подход к оценке влияния ЛКМ на пожароопасные свойства древесины заключается в том, что наличие на поверхности древесины тонких слоев лакокрасочных материалов различной химической природы может изменить не только процесс термического разложения древесного материала, но и внести свой вклад в суммарный эффект дымообразования и выделения различных токсикантов.

При оценке дымообразующей способности древесины с покрытием из ЛКМ представлялось важным определение температурного режима, при котором реализуется наибольшее дымообразование.

На рис. 1 представлены типичные зависимости коэффициента дымообразования для древесины с ЛКМ от плотности внешнего теплового потока. Было установлено, что для большинства образцов древесины с покрытием из различных лакокрасочных систем коэффициент дымообразования составляет более $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ (материалы с высокой дымообразующей способностью ДЗ).

Как видно из рис. 1, полученные зависимости имеют ярко выраженный экстремальный характер, обусловленный переходом режима беспламенного (тлеющего) горения в режим пламенного горения. При этом переход от одного режима к другому реализуется в диапазоне плотности тепловых потоков от 20 до $30 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Для отдельных видов лакокрасочных систем наблюдается смещение режима беспламенного горения в область более высоких температур, что показывает возможность повышения устойчивости исследуемых образцов к воспламенению. Некоторые ЛКМ позволяют значительно снизить дымообразующую способность древесного материала. Так, для образцов древесины с алкидным лаком с добавлением сиккатива и растворителя, используемым преимущественно для внутренней отделки — покрытия пола, коэффициент дымообразования составил $484 \text{ м}^2/\text{кг}$ (материалы с умеренной дымообразующей способностью).

Весьма интересным результатом с научной и практической точки зрения является снижение дымообразующей способности древесины при использовании некоторых видов ЛКМ, имеющих сравнительно высокую условную вязкость и образующих на поверхности древесины при визуальном осмотре тонкий пленочный слой. Так, например, для древесины с системой на алкидной основе с условной вязкостью 67 получен коэффициент дымообразования $723 \text{ м}^2/\text{кг}$. В то же время для ЛКМ на алкидной основе с водоотталкивающими добавками, имеющего более высокую степень проникновения в струк-

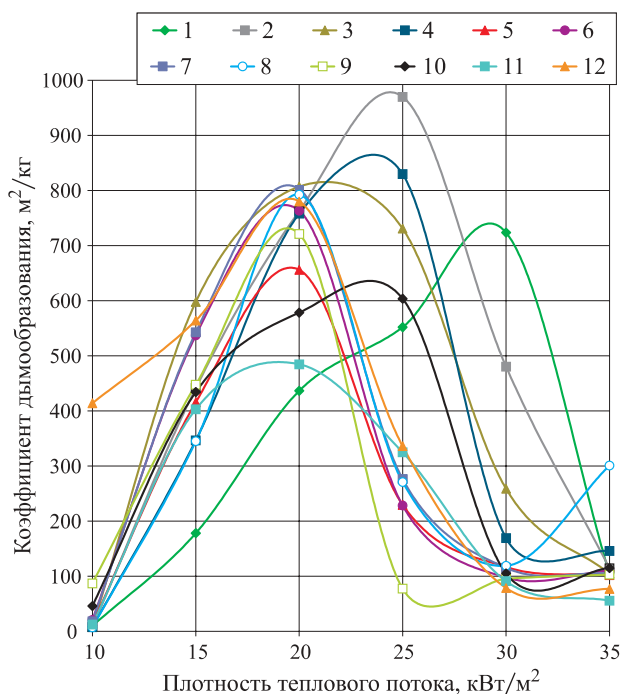


Рис. 1. Зависимость коэффициента дымообразования D_{\max} древесины с ЛКМ от плотности внешнего теплового потока q_e при огневых испытаниях: 1...12 — номера образцов (представлены в табл. 1)

туру древесины (условная вязкость 33–35), коэффициент дымообразования составил $969 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Как было показано ранее [6], особенности проникновения ЛКМ в капиллярно-сосудистую структуру древесины и формирования тонкого лакокрасочного слоя определенной толщины на поверхности древесины в условиях огневых испытаний изменяют временные показатели процесса воспламенения материала. Это дает в свою очередь основание разделить все лакокрасочные материалы на две большие группы. Первая группа ЛКМ характеризуется сравнительно низкой вязкостью и максимальным проникновением в структуру древесины, вторая — незначительным проникновением в структуру древесины за счет формирования слоя лакокрасочного материала на поверхности древесины. Определение толщины для различных ЛКМ, при которой возможны количественные изменения показателей пожароопасных свойств древесины, выходит за рамки данной работы и является предметом для последующих исследований.

По результатам огневых испытаний для лакокрасочных систем, способствующих снижению дымообразующей способности древесины, было визуально установлено образование пенококсового каркаса, являющегося, по всей видимости, определенным барьером для поступления дымовых частиц и токсичных продуктов горения в газовую фазу (рис. 2).

Несмотря на то что древесина с ЛКМ относится к группе материалов с высокой дымообразующей



Рис. 2. Образование пенококсowego каркаса ЛКМ на поверхности образцов древесины после огневых испытаний: *a* — система № 1 на алкидной основе; *b* — система № 2 на алкидной основе с водоотталкивающими добавками

способностью (ДЗ), за исключением древесины с ЛКМ на основе суспензии пигментов в алкидном лаке с добавлением сиккатива и растворителя, значение коэффициента дымообразования древесины с ЛКМ возрастает в зависимости от их химической природы: суспензия пигментов в алкидном лаке с добавлением сиккатива и растворителя → раствор лакового коллоксилина в смеси органических растворителей с добавками пластификаторов (нитроцеллюлозная основа) → водная основа на полиуретановой дисперсии → композиция на основе алкидных смол с добавлением сиккатива → алкидная основа → акриалкидная основа и водная основа на полиуретановой дисперсии → древесина натуральная → раствор лакового коллоксилина, смол и пластификаторов в смеси летучих органических растворителей (нитроцеллюлозная основа) → полиуретаноалкидная основа → алкидная основа с водоотталкивающими добавками (№ 3) → акриалкидная основа → алкидная основа с водоотталкивающими добавками (№ 2) (см. табл. 1).

Основную опасность при выделении дыма при горении древесины с ЛКМ представляют токсичные газы, которые при пожаре препятствуют эвакуации людей из здания и затрудняют тушение пожара [4, 5].

Нами проведена экспериментальная оценка влияния ЛКМ на токсичность продуктов горения древесины по выделению таких продуктов горения, как монооксид углерода (CO) и диоксид углерода (CO₂), в режимах пламенного и беспламенного (тлеющего) горения.

На рис. 3 представлены результаты изменения показателя токсичности $H_{Cl_{50}}$ (г/м³) продуктов горения образцов древесины с ЛКМ по выходу CO и CO₂ в зависимости от температуры во время огневых испытаний.

Для всех полученных зависимостей наблюдается экстремальный характер изменения показателя токсичности продуктов горения, связанный с переходом в диапазоне температур 450–550 °C режима

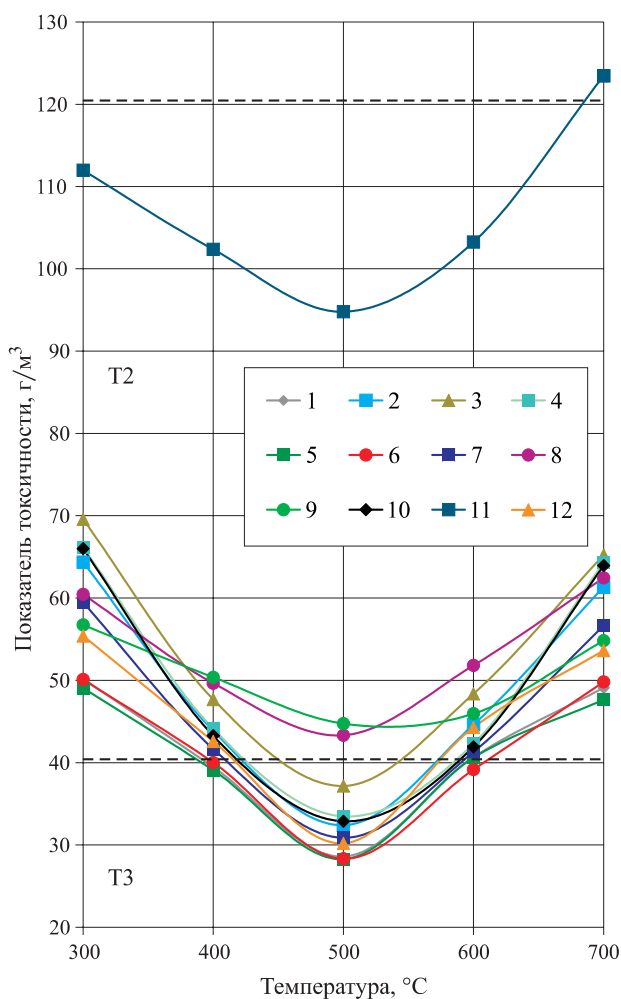


Рис. 3. Зависимость показателя токсичности продуктов горения образцов древесины с ЛКМ от температуры при огневых испытаниях: T2 — область, включающая группу материалов умеренно опасных по токсичности продуктов горения; T3 — группу материалов высокоопасных по токсичности продуктов горения (номера образцов — по табл. 1)

беспламенного (тлеющего) горения в режим пламенного горения.

По результатам экспериментального исследования установлено, что большинство лакокрасочных систем увеличивает выход токсичных продуктов горения древесины. Несмотря на это испытанные образцы древесины с ЛКМ, как и древесину натуральную, можно отнести к группе материалов по токсичности продуктов горения T3 (высокоопасные). Интересно отметить, что некоторые лакокрасочные системы способны значительно снизить выход исследуемых токсикантов при горении древесины. Так, например, при использовании лакокрасочной системы № 11 (суспензия пигментов в алкидном лаке с добавлением сиккатива и растворителя) возможно снижение токсичности продуктов горения практически в 2,5–3 раза (показатель токсичности продуктов горения составил 94,78 г/м³). Снижение выхода токсичных продуктов горения установлено

также при использовании лакокрасочных систем на основе алкидных смол с добавлением сиккатива и на основе раствора лакового коллоксилина в смеси с органическими растворителями и добавками пластификаторов. Древесина с покрытием из вышеуказанных лакокрасочных систем относится к группе материалов по токсичности продуктов горения Т2 (умеренно опасные).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что ЛКМ могут способствовать как повышению, так и снижению выхода токсичных продуктов горения. Показатель токсичности продуктов горения древесины с покрытием из ЛКМ возрастает в зависимости от их химической природы: суспензия пигментов в алкидном лаке с добавлением сиккатива и растворителя → раствор лакового коллоксилина в смеси органических растворителей с добавками пластификаторов (нитроцеллюлозная основа) → композиция на основе алкидных смол с добавлением сиккатива → акрилалкидная основа и водная основа на полиуретановой дисперсии → алкидная основа с водоотталкивающими добавками → акрилалкидная основа → водная основа на полиуретановой дисперсии → полиуретаноалкидная основа → → древесина натуральная → алкидная основа с водоотталкивающими добавками → алкидная основа → раствор лакового коллоксилина, смол и пластификаторов в смеси летучих органических растворителей (нитроцеллюлозная основа).

Как и в случае снижения дымообразующей способности древесины при использовании ЛКМ, вероятность снижения выхода токсичных продуктов горения можно связать с химической основой лака или краски, а также с образованием пенококсового

каркаса в результате сложных термических превращений, приводящих к карбонизации верхнего слоя ЛКМ. При этом образование данного каркасного слоя характерно только для некоторых видов ЛКМ, имеющих в составе компоненты, склонные к активной карбонизации.

Результаты сравнительного анализа групп и показателей дымообразования и выхода токсичных продуктов горения древесины с лакокрасочными материалами представлены в сводной табл. 2. Несмотря на высокую дымообразующую способность некоторых лакокрасочных систем — композиции на основе алкидных смол с добавлением сиккатива, раствора лакового коллоксилина в смеси органических растворителей с добавками пластификаторов (нитроцеллюлозная основа), по образованию токсичных продуктов горения они менее опасны по сравнению с системами, для которых наблюдается эффект одновременного повышения дымообразующей способности и выхода токсичных продуктов горения.

Все вышеизложенное дает основание сделать важный вывод, что снижение пожарной опасности древесины по дымообразующей способности и токсичности продуктов горения может быть достигнуто применением не только отдельных лакокрасочных систем, но и комбинации лаков и красок, при которой возможен максимальный эффект в снижении пожарной опасности древесного материала.

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что определяющими факторами, оказывающими влияние лакокрасочных материалов на дымообразующую способность и токсичность продуктов горения древесины, являются химическая основа ЛКМ, расход его нанесения, степень его проникновения в структуру древесного материала, зависящая от вязкости лака или краски, а также порода, разновидность и влажность древесины.

Выводы

В работе проведены исследования влияния лакокрасочных материалов, различных по своей химической природе, на дымообразующую способность и токсичность продуктов горения древесины.

По результатам экспериментальной оценки было установлено, что лакокрасочные материалы могут способствовать как повышению, так и снижению дымообразующей способности и токсичности продуктов горения древесины натуральной.

Древесина относится к группе материалов с высокой дымообразующей способностью (коэффициент дымообразования $D_{\max} = 780 \text{ м}^2/\text{кг}$) и к группе материалов высокоопасных по токсичности продуктов горения (показатель токсичности продуктов

Таблица 2. Сводная таблица по результатам оценки дымообразующей способности и токсичности продуктов горения образцов древесины с ЛКМ

Номер ЛКС	Группа по дымообразующей способности (D_{\max} , $\text{м}^2/\text{кг}$)	Группа по токсичности продуктов горения ($H_{\text{Cl}_{50}}$, $\text{г}/\text{м}^3$)
1	Д3 (723,50)	Т3 (28,59)
2	Д3 (969,90)	Т3 (30,10)
3	Д3 (806,97)	Т3 (35,47)
4	Д3 (829,70)	Т3 (33,47)
5	Д3 (656,01)	Т3 (32,20)
6	Д3 (763,21)	Т3 (37,15)
7	Д3 (802,26)	Т3 (30,87)
8	Д3 (721,00)	Т2 (43,33)
9	Д3 (603,50)	Т2 (44,74)
10	Д3 (792,31)	Т3 (27,84)
11	Д2 (484,62)	Т2 (94,78)
12	Д3 (780,00)	Т3 (30,19)

горения $H_{Cl_{50}} = 30,19 \text{ г/м}^3$). При использовании для древесины лакокрасочной системы для внутреннего покрытия пола, содержащей суспензию пигментов в алкидном лаке с добавлением сиккатива и растворителя, коэффициент дымообразования составил $D_{\max} = 484,62 \text{ м}^2/\text{кг}$ (материалы с умеренной дымообразующей способностью), а показатель токсичности продуктов горения — $H_{Cl_{50}} = 94,78 \text{ г/м}^3$ (материалы умеренно опасные по токсичности продуктов горения). Было установлено существенное влияние на дымообразование древесины расхода и степени проникновения лакокрасочного материала в ее структуру.

Таким образом, снижение дымообразующей способности и токсичности продуктов горения матери-

алов и конструкций на основе древесины может быть достигнуто применением не только отдельных лакокрасочных материалов, но и комбинации нескольких ЛКМ с определенной химической природой.

Результаты, полученные в настоящей работе, могут служить основой для составления специализированного каталога показателей пожароопасных свойств древесины с ЛКМ. Кроме того, они дают возможность выбрать наиболее эффективные подходы и решения по снижению пожарной опасности деревянных конструкций с лакокрасочным покрытием, а также обеспечить их пожаробезопасное применение в строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — 262 с.
2. Стебунов С. В. Исследование пожароопасных свойств лакокрасочных покрытий : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2006. — 130 с.
3. ГОСТ 12.1.044–89* ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М. : Стандартинформ, 2006. — 100 с.
4. Иличкин В. С., Леонович А. А., Яненко М. В. Термические превращения и токсичность продуктов горения древесины : обзорная информация. — Вып. 8/90. — М. : ГИЦ МВД СССР, 1990. — 67 с.
5. Иличкин В. С., Фукалова А. А. Токсичность продуктов горения полимерных материалов : обзорная информация. — Вып. 1/87. — М. : ГИЦ МВД СССР, 1987. — 67 с.
6. Альменбаев М. М., Карменов К. К., Ельчугин А. В., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Влияние лакокрасочных материалов на воспламеняемость древесины // Промышленное и гражданское строительство. — 2013. — № 10. — С. 54–55.

Материал поступил в редакцию 23 декабря 2013 г.

English

IMPACT OF PAINTS, VARNISHES AND SMOKE-GENERATION ABILITY AND TOXICITY OF COMBUSTION PRODUCTS OF WOOD

ALMENBAEV M. M., Postgraduate Student of Department of Fire Safety in Construction, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (B. Galushkina St., 4, Moscow, 129301, Russian Federation; e-mail address: make_kz1986@mail.ru)

ASEEVA R. M., Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of Department of Fire Safety in Construction, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (B. Galushkina St., 4, Moscow, 129301, Russia; e-mail address: rm-aseeva@yandex.ru)

SERKOV B. B., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Educational Research Center of Fire Safety Problems in Construction, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (B. Galushkina St., 4, Moscow, 129301, Russian Federation; e-mail address: serkov@antip.ru)

SIVENKOV A. B., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Scientific Secretary of Academy of State Fire Service of Emercom of Russia (B. Galushkina St., 4, Moscow, 129301, Russian Federation; e-mail address: sivenkov01@mail.ru)

ABSTRACT

The paper presents the results of experimental evaluation of the impact of various types of foreign and domestic wood paints and varnishes on smoke-generation ability and toxicity of combustion pro-

ducts. Investigated coating systems are used in practice for both external and internal finishing materials and designs based on wood.

The study found that chemical nature of varnishes and paints, thickness of protection layer and the use of multilayer coatings combinations have the significant effect on smoke generation and release of toxic combustion products.

The tests were conducted in the flameless mode smoldering for wood burning without an additional source of ignition. Based on the results evaluation it was found, that paints can both increase and decrease smoke-generation ability and toxicity of combustion products of natural wood. The intensity of smoke generation and output of toxic combustion products are largely determined by the nature and characteristics of pyrolysis or thermal decomposition of wood material in the presence of varnish or paint.

A very interesting result is obtained by reduction of the wood smoke generation when using certain types of paints, with relatively high values relative viscosity that forming on the wood surface by visual inspection thin film layer.

The obtained results allow to choose the most effective approaches and solutions to reduce the fire hazard of wooden structures with varnishes and paints, as well as to ensure their fire safe usage with timber construction.

Keywords: wood; paint and varnish materials; fire hazard; smoke-generation ability; toxicity of combustion products.

REFERENCES

1. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Goreniye drevesiny i yeye pozharoopasnyye svoystva* [Burning wood and fire behavior]. Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2010. 262 p.
2. Stebunov S. V. *Issledovaniye pozharoopasnykh svoystv lakokrasochnykh pokrytiy. Dis. kand. tekhn. nauk* [Study flammable properties paint and varnish coverings. Diss. cand. tech. sci.]. Moscow, 2006. 130 p.
3. *Interstate Standard 12.1.044–89*. Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination.* Moscow, Standartinform Publ., 2006. 100 p. (in Russian).
4. Ilichkin V. S., Leonovich A. A., Yanenko M. V. *Termicheskiye prevrashcheniya i toksichnost produktov goreniya drevesiny. Obzornaya informatsiya. Vyp. 8/90* [Thermal transformations and toxicity of combustion products of wood. Survey information. Issue 8/90]. Moscow, GIC MVD SSSR Publ., 1990. 67 p.
5. Ilichkin V. S., Fukalova A. A. *Toksichnost produktov goreniya polimernykh materialov. Obzornaya informatsiya. Vyp. 1/87* [Toxicity of the products of combustion of polymeric materials. Survey information. Issue 1/87]. Moscow, GIC MVD SSSR Publ., 1987. 67 p.
6. Almenbaev M. M., Karmenov K. K., Elchugin A. V., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Vliyaniye lakokrasochnykh materialov na vosplamenyayemost drevesiny* [The impact of paint materials on the wood flammability]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo — Industrial and Civil Construction*, 2013, no. 10, pp. 54–55.

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

В. В. СМИРНОВ, преподаватель Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22); аспирант научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: s_vitaly2006@list.ru)

К. С. АЛЕКСЕЕВ, аспирант научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а)

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

УДК 614.841

ТЕМПЕРАТУРА ВСПЫШКИ. ЧАСТЬ III. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЧЕРЕЗ ТЕМПЕРАТУРУ КИПЕНИЯ¹

Приведен обзор методов расчета температуры вспышки горючих жидкостей через их температуру кипения. Показано развитие формулы Орманди–Крэвена. Рассмотрены другие подходы прогнозирования температуры вспышки органических веществ с использованием температуры кипения как одной из переменных.

Ключевые слова: температура вспышки; расчет; прогноз; температура кипения.

Фактически температура вспышки не является ключевым параметром в процессе возникновения горения горючих веществ, тем не менее она выбрана мерилем деления воспламеняющихся жидкостей на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) и горючие (ГЖ) во многих странах [1]. Это свойство температуры вспышки нашло отражение в нормативных документах, затрагивающих различные аспекты пожаровзрывобезопасности.

Пункт 2.2.2 ГОСТ 12.1.044–89* [2] допускает при оценке пожарной опасности жидкостей использовать как экспериментальные, так и расчетные значения температуры вспышки. В зарубежных базах данных в основном приводится информация о значениях температуры вспышки горючих веществ в закрытом тигле. Поэтому неудивительно, что иностранные методы прогнозирования связаны именно с температурой вспышки в закрытом тигле. В связи с этим в нашей работе рассмотрены методы расчета и прогнозирования данного показателя для закрытого тигля.

В предыдущей статье [3] был проанализирован один из первых подходов к прогнозированию температуры вспышки индивидуальных горючих жид-

костей через давление насыщенного пара. Практически одновременно с этим подходом в 1922 г. появилась формула Орманди–Крэвена (Ormandy–Craven), связывающая температуру вспышки с температурой кипения [4–6]:

$$t_{\text{всп}} = bt_{\text{кип}}^2 \quad (1)$$

где b — эмпирический коэффициент; $b = 0,720 \div 0,782$; для оценочных прогнозов $b = 0,736$ [4–6].

Однако прогнозы по уравнению (1) не отличались высокой точностью, что побудило исследователей к дальнейшему изучению этого вопроса. Добавление слагаемого a в уравнение (1) приводит к модифицированному уравнению Орманди–Крэвена и позволяет во многих случаях с хорошей точностью предсказывать температуру вспышки органических соединений различных классов:

$$t_{\text{всп}} = bt_{\text{кип}} + a, \quad (1а)$$

где a, b — эмпирические коэффициенты, определяемые по табл. 1.

Отметим, что недавно уравнению (1) была дана "вторая жизнь". Было принято, что для алканов ко-

¹ Продолжение. Начало см. в журнале "Пожаровзрывобезопасность" № 5 и № 10 за 2012 г.

² По умолчанию записи " t " и " T " означают температуру в градусах Цельсия и Кельвина соответственно.

Таблица 1. Значения коэффициентов для уравнения (1а)

Класс соединений	-a	b	Литературный источник
Углеводороды	122 ¹	0,73 ¹	[7]
	73,3	0,68	[8]
Алканы	73,22	0,693	[2, 9, 10]
	10,6	0,69	[11, 12]
	71,7	0,683	[13]
	73,7	0,6946	[14]
	64	0,65	[15]
	119 ¹	0,683 ¹	[16, 17]
	124,81 ¹	0,69 ¹	[18]
	68,8	0,659	[19]
Алкиланилины	21,94	0,533	[2, 9, 10]
	105,5	0,53	[11, 12]
Ароматические моноамины (первичные)	80	0,84	[8]
Ароматические моноамины (третичные)	93	0,82	[8]
Алкилбензолы	87,3	0,78	[20]
Алкиламины	18,6	0,70	[12]
	55,4	0,58	[8]
Алкилформиаты	61,1	0,70	[20]
	46	0,58	[8]
Алкилацетаты	45,3	0,60	[20]
	46,741	0,603	[21]
	22,4	0,70	[12]
	49,4	0,6	[8]
Алкилпропионаты	31,2	0,43	[20]
Алкилбутираты	50,8	0,62	[8]
Алкилвалераты	48,6	0,62	[8]
Алкилфталаты	17	0,54	[8]
Алкилнитрилы	72,4	0,83	[8]
Алкилфенолы	38,42	0,623	[2, 9, 10]
	64,5	0,62	[11, 12]
Фенолы	36	0,64	[8]
Олефины, ацетилены, диены	74,3	0,71	[8]
Алкоксиспирты	55,6	0,73	[8]
Амиды карбоновых кислот	49,9	0,66	[8]
Алкилмеркаптаны	68,9	0,69	[8]
Амины простых эфиров	73	0,79	[8]
Гликоли	55	0,78	[8]
Дихлоралканы	44,6	0,61	[8]
Изоцианаты	111	0,96	[8]
Диалкилдисульфиды	59,2	0,66	[8]

Продолжение табл. 1

Класс соединений	-a	b	Литературный источник
Тиоэфиры	72,9	0,71	[8]
Сложные эфиры	55,86	1,005	[30, 23, 24]
	50,4	0,627	[31]
	-39,0 ²	0,660 ²	[32]
Альдегиды	74,76	0,813	[2, 9, 10]
	23,7	0,81	[11, 12]
	59,4	0,661	[33]
	61,8	0,66	[8]
Ароматические углеводороды	67,83	0,665	[2, 9, 10]
	65,77	0,663	[21]
	23,6	0,66	[11, 12]
Простые эфиры	52,6	0,595	[22]
	64	0,64	[8]
Спирты	41,69	0,652	[2, 9, 10]
	53,4	0,65	[11, 12]
	37	0,62	[15]
	30	0,58	[20]
	37,8	0,6	[8]
	40,04	0,644	[23, 24]
Карбоновые кислоты	43,57	0,708	[2, 9, 10]
	36,1	0,71	[11, 12]
	50	0,75	[15]
	52,9	0,76	[20]
	42,63	0,702	[25]
	14,7	0,55	[8]
Бромалканы	49,56	0,665	[2, 9, 10]
	6,7	0,30	[20]
	37,55	0,538	[26]
	189,2	1,81	[8]
Хлоралканы	55,70	0,631	[2, 9, 10]
	39,3	0,46	[20]
	57,73	0,630	[27]
	45,0	0,63	[11, 12]
	68,6	0,69	[8]
	1,2	0,44	[8]
Ароматические простые эфиры	1,2	0,44	[8]
Бензолы	68	0,68	[8]
Циклогексаны	74,6	0,67	[8]
Галогенобензолы и галогенотолуолы	56,91	0,70	[28]
Нитроалканы	43,8	0,60	[20]
	20,93	0,436	[29]
	48	0,74	[8]
Алифатические диамины	54,1	0,67	[8]

Окончание табл. 1

Класс соединений	-a	b	Литературный источник
Ацетали и кетали	70,9	0,78	[8]
Аминоспирты	21	0,58	[8]
Хлорангидриды карбоновых кислот	43	0,6	[8]
Монохлорбензолы	65,3	0,7	[8]
Монофторбензолы	81,4	0,78	[8]
Ди- и трихлорбензолы	154	1,24	[8]
Мононитроароматические соединения	47	0,7	[8]
Нафталины	72	0,69	[8]
Эпоксиды	57	0,67	[8]
Кетоны	52,69	0,643	[2, 9, 10]
	46,8 ³	0,61 ³	[20]
	-46,5	0,634	[32]
	58,812	0,662	[21]
	57,0	0,646	[34]
	55	0,62	[8]
	54,47	0,634	[23, 24, 35]
	44,8	0,64	[11, 12]
N-содержащие соединения	-55,7	0,628	[32]
Органические соединения в целом	33,176 ²	0,67465 ²	[36]

^{1,2} Для температур кипения и вспышки в градусах Фаренгейта (F) и Кельвина соответственно.
³ Для метилалкилкетонов. Жирным шрифтом выделено сомнительное значение коэффициента a.

коэффициент *b* равен 0,712, а для остальных органических соединений — 0,75 [37].

При прогнозировании температур кипения и вспышки галогенбензолов и галогентолуолов с применением дескрипторов WHIM (Weighted Holistic Invariant Molecular)³ итальянские ученые также пришли к модифицированному уравнению Орманди-Крэвена (см. табл. 1) [28].

Дальнейшее развитие уравнения (1а) связано с раскрытием коэффициента *a* или *b* путем привязки его к какому-либо химическому свойству или химической структуре соединения.

В формуле Элея (Oehley) [38] множитель *b* = 1, а слагаемое *a* представлено как зависимость от количества атомов в молекуле горючего вещества:

$$t_{всп} = t_{кип} + (-18\sqrt{K}), \quad (2)$$

где $K = 4(N_C + N_S) + N_H + N_N - 2(N_O + N_{Cl}) - 3N_F - 5N_{Br}$;

³ WHIM-индексы связаны с 3D-информацией о молекулярном строении, симметрии и атомном распределении.

Таблица 2. Коэффициенты для уравнения (3)

Класс соединений	b	c	d	Литературный источник
Хлоралканы	0,67	34	-0,83	[27]
Бромалканы	0,83	5,12	-6,03	[26]
Иодалканы	0,957	-37,95	-10,33	[26]
Фторалканы	0,21	117,19	12,89	[26]
Органические соединения	0,8493	-18,44	-3,723	[39]

N_i — количество атомов углерода С, серы S, водорода H, азота N, кислорода O, хлора Cl, фтора F и брома Br в молекуле.

В результате выделения из коэффициента *a* числа атомов углерода в молекуле N_C формула (1а) приобретает следующий вид:

$$T_{всп} = bT_{кип} + (c + dN_C), \quad (3)$$

где *b*, *c*, *d* — константы, определяемые по табл. 2.

Путем выделения из слагаемого *a* вклада структурных элементов получено уравнение (4) [9, 10, 12, 40], которое нашло свое закрепление в национальном стандарте [2]:

$$t_{всп} = 0,659t_{кип} + \left[\sum_{i=1}^n (a_i l_i) - 73,14 \right], \quad (4)$$

где a_i — эмпирический коэффициент *i*-й группы;

l_i — количество *i*-групп (табл. 3).

Слагаемое *a* может быть выражено также через плотность жидкости ρ (г/мл) [41] или теплоту сгорания $H_{ст}$ (кДж/моль) [9, 11, 12]. Следует отметить, что уравнение (5) можно рассматривать как ревизию ранее предложенной формулы (7) [18]. Для спиртов предложен частный вариант уравнения (5) — формула (5а) [41]:

$$t_{всп} = 0,6208t_{кип} + (37,8127\rho - 84,794); \quad (5)$$

$$t_{всп} = 0,5544t_{кип} + (52,658\rho - 81,018); \quad (5a)$$

Таблица 3. Значения коэффициента a_i для уравнения (4)

Группа	a_i	Группа	a_i
C=C	1,72	C-Cl	15,11
C=O	11,66	C-Br	19,4
C=S	-11,91	N-H	5,83
C-C	-2,03	O-H	23,9
C-C (аромат.)	-0,28	P=O	9,64
C-H	1,105	P-O	3,27
C-N	14,15	S-H	5,64
C-O	2,47	Si-C	-4,84
C-S	2,09	Si-Cl	10,07
C-F	3,33	Si-H	11

Таблица 4. Значения коэффициентов для уравнения (6)

Класс соединений	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	Литературный источник
C _x H _y O _u N _z	0,83	-0,0082	-45,5	[11, 12]
	0,83	-0,00812	-45,5	[9]
C _x H _y O _u N _z Cl _j	0,86	-0,0114	-39,6	[11, 12]
	0,79	-0,0147	-39,6	[9]
Соединения, содержащие F и Br	0,79	-0,0147	-57,4	[9, 11, 12]
Соединения, содержащие S, Si, P и Cl	0,83	-0,0082	-45,5	[9, 11, 12]

$$t_{всп} = bt_{кип} + (cH_{ст} + d); \quad (6)$$

$$t_{всп} = 0,5811t_{кип} + 0,1118 \cdot 10^3 / (t_{кип})^2 + (38,734\rho - 83,3362), \quad (7)$$

где *b*, *c*, *d* — константы, определяемые по табл. 4.

Другим вариантом развития модифицированного уравнения Орманди–Крэвена является выделение из коэффициента *a* различных дескрипторов.

Так, в настоящее время из коэффициента *a* выделены дескрипторы *Ss*, *VEv1*, *RNCG*, *HDCA*, *HBSA*, *DPSA*, *E_{e-n>c}* и *M_w* [42–44]:

$$T_{всп} = 0,8374T_{кип} + (43,5120 + 1,3695Ss - 39,1658VEv1); \quad (8)$$

$$T_{всп} = 0,72T_{кип} + (76,99RNCG + 2,05HDCA - 8,40); \quad (9)$$

$$T_{всп} = 0,59T_{кип} + (0,51HBSA + 0,28M_w + 32,85); \quad (10)$$

$$T_{всп} = 0,75T_{кип} + (0,23HASA + 103,65RNCG - 26,11); \quad (11)$$

$$T_{всп} = 0,67T_{кип} + (3,45DPSA + 0,95E_{e-n>c} - 161,8), \quad (12)$$

где *Ss* — структурный дескриптор, равный сумме Кайер–Холла (Kier–Hall) электротопологических состояний;

VEv1 — объемный дескриптор, соответствующий суммарному значению ван-дер-ваальсовой весовой дистанционной матрицы (van der Waals weighted distance matrix);

RNCG — относительный отрицательный заряд;

HDCA — дескриптор водородной связи;

HBSA — дескриптор донорно-акцепторной связи;

DPSA — разница относительных зарядов положительно и отрицательно заряженных атомов в молекуле;

E_{e-n>c} — дескриптор, описывающий силы ядерно-электронного притяжения, отнесенные к конформационным изменениям или атомной реакционной способности в молекуле;

M_w — молекулярная масса.

В результате усовершенствования метода Прага (Prugh) для прогнозирования температуры вспышки [17] получено уравнение Орманди–Крэвена, в ко-

Таблица 5. Значения коэффициентов *a*, *b*, *c* для уравнения (14)

Класс соединений	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i> · 10 ³	Литературный источник
Алканы	-31,8163 ¹	0,4177	3	[51]
Органические кислоты	314,0	-0,429	1,14	[32]
Спирты	241,7	-0,210	0,957	[32]
Кремний-органические соединения	-51,2385 ¹	0,4994 ¹	0,47 ¹	[49, 50]
	-45,6432 ¹	0,484869 ¹	0,414 ¹	[51]
Другие органические соединения	-30,0	0,973	-0,359	[32]
	4,656	0,844	-0,234	[32]
	-54,5377 ¹	0,58883 ¹	0,22 ¹	[49, 50]

¹ Для температур кипения и вспышки в °С.

тором множитель *b* связан со стехиометрической концентрацией горючего вещества *C_{ст}* [45, 46]:

$$t_{всп} = \frac{1}{c + d \ln(C_{ст})} t_{кип}, \quad (13)$$

где *c* = 1,3611, *d* = -0,0697 для спиртов; *c* = 1,4420, *d* = -0,08512 — для других органических соединений.

Применение механизма аппроксимации искусственных нейронных сетей с обратным распространением ошибки позволяет снизить ошибку, получаемую при использовании модифицированного уравнения Орманди–Крэвена (1а) для органических соединений, до 3,3 % [47, 48].

Альтернативным развитием прогнозирования температуры вспышки органических жидкостей через их температуру кипения является переход от линейной зависимости к полиному 2-й степени [32, 49, 50]:

$$T_{всп} = a + bT_{кип} + c(T_{кип})^2, \quad (14)$$

где *a*, *b*, *c* — константы, определяемые по табл. 5.

Наряду с вышеприведенными подходами расчета температуры вспышки органических индивидуальных веществ наблюдается тенденция создания принципиально новых уравнений, не базирующихся на формуле Орманди–Крэвена.

Для прогнозирования температуры вспышки углеводородов выведено уравнение [53]:

$$\frac{1}{T_{всп}} = -1,4568 \cdot 10^{-2} + \frac{2,84947}{T_{кип}} + 1,903 \cdot 10^{-3} \ln(T_{кип}), \quad (15)$$

где *T_{всп}*, *T_{кип}* — температуры вспышки и кипения горючей жидкости в градусах Реомюра (*R*).

Модифицированный метод Батлера (Butler) заключается в том, что из базы данных химических соединений выбираются максимально близкие к ис-

следуемой структуре. Затем находятся линейные зависимости $T_{всп} = (T_{кип})^a$, где a равно 1, 2 и 0,5, и по лучшей линейной регрессии вычисляют температуру вспышки исследуемого вещества [72]. Данный метод прогнозирования температуры вспышки заложен в программный комплекс ACD/Lab. Результаты расчета по данному методу для многих органических соединений доступны в бесплатной базе данных химической поисковой системы ChemSpider [73].

Бразильскими исследователями предложен новый дескриптор, полученный на основе температуры кипения, который назван индексом температуры кипения (Y_{BP})⁴ [54]. Впоследствии на его основе разработан индекс температуры вспышки N_{FP} , используемый для прогнозирования температуры вспышки [55–60]:

$$Y_{BP} = \left[\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4a(c - T_{кип})}}{2a} \right]^3; \quad (16)$$

$$N_{FP} = 0,987Y_{BP} + 0,176D + 0,687T + 0,712B - 0,176; \quad (17)$$

$$T_{всп} = 23,369N_{FP}^{2/3} + 20,010N_{FP}^{1/3} + 31,901, \quad (18)$$

где a, b, c — константы; для алканов $a = -16,802$, $b = 337,377$, $c = -437,883$ [59];

D — число двойных связей;

T — число тройных связей;

B — число ароматических циклов.

Для иод- и фторалканов предложена нелинейная зависимость [26]:

$$T_{всп} = a + b(T_{кип})^c, \quad (19)$$

где $a = -128,39$, $b = 21,57$, $c = 0,5$ для иодалканов; $a = 98,16$, $b = 0,025$, $c = 1,5$ для фторалканов.

Отношение температуры вспышки к температуре кипения прямо пропорционально отношению теплоты сгорания $H_{сг}$ к теплоте парообразования $H_{пар}$. Для алканов эта зависимость может быть описана уравнениями [37, 61]:

$$\frac{T_{всп}}{T_{кип}} = 0,726 - 0,0000715 \left(\frac{H_{сг}}{H_{пар}} \right); \quad (20)$$

$$\frac{T_{всп}}{T_{кип}} = 0,8182 - 0,00004 \left(\frac{H_{сг}}{H_{пар}} \right) + \sum_{i=1}^m (\alpha_i n_i), \quad (21)$$

где α_i — параметр i -й группы;

n_i — количество i -групп (табл. 6).

Таблица 6. Коэффициенты α_i для уравнения (21)

Группа	α_i	Группа	α_i
$-\text{CH}_3$	-0,0242924	$-\text{CH}_2-$	0,0072769
$>\text{CH}-$	0,0071968	$>\text{C}<$	0,0156201

⁴ Индекс Y_{BP} может быть также рассчитан на основе структурных элементов молекулы горючего вещества [57, 59].

Французскими учеными температура вспышки представлена как функция температуры кипения, теплоты парообразования $H_{пар}$ ⁵ и числа атомов углерода в молекуле горючего вещества N_C [62, 63]:

$$T_{всп} = 1,477(T_{кип})^{0,79686} H_{пар}^{0,16845} N_C^{-0,05948}. \quad (22)$$

Другой вариант связи температуры вспышки с температурой кипения и теплотой парообразования $H_{пар}$ предложен украинскими коллегами [64]:

$$T_{всп} = 0,025H_{исп} (T_{кип}) \left(\frac{C_H}{7} \right)^{0,3} - 50. \quad (23)$$

Американским исследователем А. М. Канури [65] на основе уравнения Клапейрона–Клаузиуса (Clausius–Clapeyron equation), закона Авогадро (Avogadro's hypothesis) и правила Трoutона (Trouton rule) выведено уравнение, в котором температура вспышки связана с температурой кипения и нижним концентрационным пределом воспламенения (НКПВ) C_H :

$$\ln \left(\frac{1}{C_H} \right) \geq 10,5 \left[\frac{T_{кип}}{T_{всп}} - 1 \right]. \quad (24)$$

Другим вариантом данной связи является преобразованная формула Элея [38]:

$$t_{всп} = t_{кип} - \sqrt{14400/C_H}. \quad (25)$$

Исходя из уравнений Лесли–Дженези (Leslie–Geniesse relation)⁶ и Клапейрона–Клаузиуса выведена формула (26), которая представляет температуру вспышки как функцию температуры кипения, теплоты парообразования $H_{пар}$ и коэффициента в реакции горения перед кислородом β [66, 67]:

$$T_{всп} = \frac{T_{кип}}{(T_{кип}/H_{пар})R \ln(8\beta) + 1}, \quad (26)$$

где R — универсальная газовая постоянная.

Предложена также более сложная зависимость (27), в которой температура вспышки определяется на основании значений температуры кипения, коэффициента β и теплот парообразования при температуре кипения ($H_{пар}$) и при 298 К (H_{298}^0) [67]:

$$T_{всп} = 0,2554 \frac{T_{кип}}{(\beta + 1)^{0,2164}} \left(\frac{H_{пар}}{R} \right)^{0,1606} + 6,31(\beta + 1)^{0,7} - 5,6 \cdot 10^{-5} \frac{H_{пар}^0 T_{кип}}{R(\beta + 1)} + 0,0208 \left(\frac{H_{пар}^0}{R} \right)^{0,8767}. \quad (27)$$

⁵ Здесь и далее теплота парообразования в кДж/моль.

⁶ Применение формулы Лесли–Дженези для расчетов температуры вспышки органических соединений через давление насыщенного пара рассмотрено в работе [3].

На основании тестирования 1220 соединений предложена нелинейная формула для вычисления температуры вспышки горючих веществ [68, 69]:

$$T_{\text{всп}} = a + \frac{b(c/T_{\text{кип}})^2 e^{-c/T_{\text{кип}}}}{(1 - e^{-c/T_{\text{кип}}})^2}, \quad (28)$$

где a, b, c — эмпирические коэффициенты для различных классов соединений, определяемые по табл. 7.

Японским исследователем Ишиучи (Ishiuchi) все органические воспламеняющиеся жидкости, за исключением углеводородов, разделены на ассоциированные и неассоциированные⁷, и для расчета их температуры вспышки предложено уравнение [70]:

$$T_{\text{всп}} = \left[(T_{\text{кип}})^a + b \left(\frac{\beta}{760} \right)^{-a} + c \right]^{1/a}, \quad (29)$$

где a, b, c — эмпирические коэффициенты: $a = 0,105$, $b = 0,057$, $c = 0,142$ — для ассоциированных соединений; $a = 0,119$, $b = 0,0656$, $c = 0,185$ — для неассоциированных.

Для 1471 органического соединения из 77 химических классов, не обладающих свойствами электролитов, с использованием модели ANN-GC (Artificial Neural Network-Group Contribution) с помощью алгоритма GEP (Gene Expression Programming) вычислены значения температуры вспышки с относительной ошибкой расчета не более 4,9 % [71].

⁷ Ассоциированная жидкость — это жидкость, в которой присутствуют водородные связи.

Таблица 7. Коэффициенты для уравнения (28)

Класс соединений	a	b	c
Углеводороды	225,1	537,6	2217
Спирты	230,8	390,5	1780
Амины	222,4	416,6	1900
Карбоновые кислоты	323,2	600,1	2970
Простые эфиры	275,9	700,0	2879
S-содержащие соединения	238,0	577,9	2297
Сложные эфиры	260,8	449,2	2217
Кетоны	260,5	296,0	1908
Галогенсодержащие соединения	262,1	414,0	2154
Альдегиды	264,5	293,0	1970
P-содержащие соединения	201,7	416,1	1666
N-содержащие соединения	185,7	432,0	1645
Si-содержащие соединения	218,767	668,2057	2281,015

В заключение отметим, что в настоящей статье приведен обзор методов прогнозирования температуры вспышки горючих веществ через их температуру кипения. В следующей работе будут рассмотрены методы расчета температуры вспышки горючих жидкостей на основе других дескрипторов.

Авторы очень признательны Председателю Редакционного совета журнала "Пожаровзрывобезопасность" д-ру техн. наук, профессору, академику МАНЭБ А. Я. Корольченко за поддержку данного проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть I. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 35–41.
2. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — № 2 (48).
3. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть II. Расчет через давление насыщенного пара // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 21–35.
4. Тидеман Б. Г., Сциборский Д. Б. Химия горения. — Л.: Изд-во Наркомхоза РСФСР, 1940. — С. 189–190.
5. Тарасов А. В., Степанова И. В. Процессы горения и показатели пожарной опасности: учебное пособие. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2008. — С. 15–16.
6. Handbook of Solvents / By ed. G. Wypych. — Toronto: Chem. Tec. Publishing, 2001. — P. 50.
7. Properties of flammable liquids, gases, and solids // Industrial and Engineering Chemistry. — 1940. — Vol. 32, No. 6. — P. 880–884.
8. Möller W., Schulz P., Redeker T. Verfahren zur abschätzung des flammpunkts und der unteren explosionsgrenze // PTB-Bericht / W:55. — Bremerhaven: Wirtschaftsverl, NW, 1993. — 64 S. Цит по [64].
9. Шебеко Ю. Н., Навеця В. Ю., Копылов С. Н., Горшков В. И., Корольченко И. А., Полетаев А. Н., Васина О. В., Вережкин В. Н., Белов С. Г. Расчет основных показателей пожаровзрывобезопасности веществ и материалов: руководство. — М.: ВНИИПО, 2002. — С. 11–13.
10. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2 ч. — М.: Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — С. 64–66.

11. Баратов А. Н., Иванов Е. Н., Корольченко А. Я., Минаев С. Н., Писков Ю. К., Стороженко Т. Е. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. — М. : Химия, 1987. — С. 45.
12. Шебеко Ю. Н., Иванов А. В., Корольченко А. Я., Алехина Э. Н., Бармакова А. А., Терешина Н. А. Инструкция по расчету температуры вспышки и воспламенения горючих жидкостей № 4р-82. — М. : ВНИИПО, 1983. — 36 с.
13. Bodhurtha F. P. Industrial explosion prevention and protection. — N. Y. : McGraw-Hill Inc., 1980. — P. 167. Цит по [45].
14. Affens W. A. Flammability properties of hydrocarbon fuels. Interrelations of flammability properties of *n*-alkanes in air // Journal of Chemical & Engineering Data. — 1966. — Vol. 11, No. 2. — P. 197–202.
15. Ахметжанов И. С., Никулина Н. К., Дмитриев С. М. Зависимость температуры вспышки от температуры кипения для индивидуальных органических соединений // Химия и технология топлив и масел. — 1974. — № 8. — С. 45.
16. Butler R. M., Cooke G. M., Lukk G. G., Jameson B. G. Prediction of flash points of middle distillates // Industrial and Engineering Chemistry. — 1956. — Vol. 48, No. 4. — P. 808–812.
17. Prugh R. W. Estimation of flash point temperature // Journal of Chemical Education. — 1973. — Vol. 50, No. 2. — P. A85–A89.
18. Satyanarayana K., Kakati M. C. Note: Correlation of flash points // Fire Materials. — 1991. — Vol. 15, No. 2. — P. 97–100. doi: 10.1002/fam.810150208.
19. Губина Е. А., Зуев С. А., Мерзлякин Г. Ю. Совершенствование расчетных методов определения температуры вспышки и воспламенения жидкостей // Пожарная безопасность. — 2004. — № 4. — С. 61–63.
20. Korol'chenko A. Ya., Bobkov A. S., Zhuravlev V. S., Lant'khova L. V. Calculating the flash point of inflammable liquids // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. — 1969. — Vol. 5, No. 8. — P. 556–558. (Химия и технология топлив и масел. — 1969. — № 8. — С. 16–18).
21. Стоянович И. О., Саушев В. С., Ле Суан Ты. Расчетные методы определения температуры вспышки индивидуальных жидкостей в закрытом тигле // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2007. — № 2 (12). URL : <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-2/14-02-07.ttb.pdf> (дата обращения: 15.04.2013 г.).
22. 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.
23. Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Использование аддитивно-группового метода для расчета температуры вспышки спиртов, кетонов и сложных эфиров // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. — 2010. — № 1 (9). URL : <http://www.edu-fire37.ru/contact/vestnik/> (дата обращения: 21.04.2013 г.).
24. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Additive group techniques for calculating the flash point of alcohols, ketones and esters // Russian Journal of Applied Chemistry. — 2011. — Vol. 84, No. 1. — P. 54–59 (Журнал прикладной химии. — 2011. — Т. 84, № 1. — С. 55–60.). doi: 10.1134/S1070427211010095.
25. 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.
26. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Калач А. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. XI. Галогеналканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 8. — С. 25–37.
27. 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.
28. Chiorboli C., Gramatica P., Piazza R., Pino A., Todeshini R. 3D-modelling and prediction by WHIM descriptors. Part 7. Physico-chemical properties of haloaromatics. Comparison between WHIM and topological descriptors // SAR and QSAR in Environmental Research. — 1997. — Vol. 7, No. 1–4. — P. 133–150. doi: 10.1080/10629369708039128.
29. 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.
30. Батов Д. В., Мочалова Т. А., Петров А. В. Описание и прогнозирование температуры вспышки сложных эфиров в рамках аддитивно-группового метода // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 2. — С. 15–18.

31. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 31–57.
32. Patil G. S. Estimation of flash point // Fire and Materials. — 1988. — Vol. 12, No. 3. — P. 127–131. doi: 10.1002/fam.810120307.
33. 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.
34. 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.
35. Петров А. В., Батов Д. В., Мочалова Т. А. Применение аддитивно-группового метода для расчета характеристик горения кетонов // Вестник Ивановского института ГПС МЧС России. — 2008. — № 1. — С. 46–49.
36. Wang K., Sun X. Correlation and calculation of the flash points of organic compounds // Computers and Applied Chemistry. — 2001. — No. Z1. — P. 581–584.
37. Valenzuela E. M., Vázquez-Román R., Patel S., Mannan M. S. Prediction models for the flash point of pure components // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2011. — Vol. 24, No. 6. — P. 753–757. doi: 10.1016/j.jlp.2011.04.010.
38. Oehley E. Ableitung empirischer gleichungen für die untere explosionsgrenze und den flammpunkt // Chemie Ingenieur Technik. — 1953. — Bd. 25, No. 7. — S. 399–403.
39. Gharagheizi F., Eslamimanesh A., Mohammadi A. H., Richon D. Empirical method for representing the flash-point temperature of pure compounds // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2011. — Vol. 50, No. 9. — P. 5877–5880. doi: 10.1021/ie102246v.
40. Korol'chenko A. Ya., Liberman M. D. Calculation of the flash point of chemical substances // Proceedings of VNIPO. — 1978. — Vol. 1. — P. 57–75. Цит по: [64].
41. Metcalfe E., Metcalfe A. E. M. Communication: on the correlation of flash points // Fire Materials. — 1992. — Vol. 16, No. 3. — P. 153–154. doi: 10.1002/fam.810160307.
42. Gharagheizi F., Keshavarz M. H., Sattari M. A simple accurate model for prediction of flash point temperature of pure compounds // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. — 2012. — Vol. 110, No. 2. — P. 1005–1012. doi: 10.1007/s10973-011-1951-5.
43. Katritzky A. R., Petrukhin R., Jain R., Karelson M. QSPR analysis of flash points // Journal of Chemical Information and Computer Sciences. — 2001. — Vol. 41, No. 6. — P. 1521–1530. doi: 10.1021/ci010043e.
44. Katritzky A. R., Stoyanova-Slavova I. B., Dobchev D. A., Karelson M. QSPR modeling of flash points: An update // Journal of Molecular Graphics and Modelling. — 2007. — Vol. 26, No. 2. — P. 529–536. doi: 10.1016/j.jmgm.2007.03.006.
45. Hristova M., Tchaoushev S. Calculation of flash points and flammability limits of substances and mixtures // Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy. — 2006. — Vol. 41, No. 3. — P. 291–296.
46. Vidal M., Rogers W. J., Holste J. C., Mannan M. S. A review of estimation methods for flash points and flammability limits // Process Safety Progress. — 2004. — Vol. 23, No. 1. — P. 47–55. doi: 10.1002/prs.10004.
47. Передерин Ю. В. Многофакторный анализ и прогноз свойств органических соединений // Ползуновский вестник. — 2008. — № 3. — С. 61–62.
48. Передерин Ю. В. Прогнозирование свойств высокоэнергетических композитов с использованием информационных технологий : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Бийск, 2013. — 19 с.
49. Hshieh F. Y. Correlation of closed-cup flash points with normal boiling points for silicone and general organic compounds // Fire and Materials. — 1997. — Vol. 21, No. 6. — P. 277–282. doi: 10.1002/(SICI)1099-1018(199711/12)21:6<277::AID-FAM617>3.0.CO;2-3.
50. Hshieh T. H., Hshieh F. Y. Closed-cup flash points and flammability properties of selected chemical compounds // Journal of Fire Sciences. — 2005. — Vol. 23, No. 2. — P. 157–171. doi: 10.1177/0734904105045054.
51. Das B., Kumar S., Mondal P. Experimental measurement and correlation of flash point of alternate PUREX/UREX solvent (36 % TiAP) in C₈–C₁₆ diluents // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. — 2011. — Vol. 289, No. 2. — P. 503–505. doi: 10.1007/s10967-011-1093-z.
52. Chen C.-C., Liaw H.-J., Tsai Y.-J. Prediction of flash point of organosilicon compounds using quantitative structure property relationship approach // Industrial & Engineering Chemistry Research. — 2010. — Vol. 49, No. 24. — P. 12702–12708. doi: 10.1021/ie101381b.

53. *Riazi M. R., Daubert T. E.* Predicting flash and pour point // *Hydrocarbon Processing*. — 1987. — Vol. 66, No. 9. — P. 81–83. Цит по [64].
54. *Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H.* Calculating flash point numbers from molecular structure: an improved method for predicting the flash points of acyclic alkanes // *Energy Fuels*. — 2010. — Vol. 24, No. 1. — P. 392–394. doi: 10.1021/ef900883u.
55. *Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H.* Improved prediction of hydrocarbon flash points from boiling point data // *Energy Fuels*. — 2010. — Vol. 24, No. 9. — P. 4854–4856. doi: 10.1021/ef1005836.
56. *Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H.* Simple method to evaluate and to predict flash points of organic compounds // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. — 2011. — Vol. 50, No. 8. — P. 4796–4800. doi: 10.1021/ie1021283.
57. *Godinho J. M., Carroll F. A., Quina F. H.* A simple method to evaluate, correlate and predict boiling and flash points of alkynes // *Journal of the Brazilian Chemical Society*. — 2012. — Vol. 23, No. 10. — P. 1895–1899. doi: 10.1590/S0103-50532012005000064.
58. *Godinho J. M., Lin C.-Y., Carroll F. A., Quina F. H.* Group contribution method to predict boiling points and flash points of alkylbenzenes // *Energy Fuels*. — 2011. — Vol. 25, No. 11. — P. 4972–4976. doi: 10.1021/ef201121b.
59. *Palatinus J. A., Sams C. M., Beeston C. M., Carroll F. A., Argenton A. B., Quina F. H.* Kinney revisited: an improved group contribution method for the prediction of boiling points of acyclic alkanes // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. — 2006. — Vol. 45, No. 20. — P. 6860–6863. doi: 10.1021/ie0604425.
60. *Carroll F. A., Godinho J. M., Quina F. H.* Development of a simple method to predict boiling points and flash points of acyclic alkenes // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. — 2011. — Vol. 50, No. 24. — P. 14221–14225. doi: 10.1021/ie201241e.
61. *Vázquez-Román R., Valenzuela-Acosta E. M., Castillo-Borja F.* Nuevos modelos para predecir el punto flash para alcanos puros // *Avances en Ciencias e Ingeniería*. — 2010. — Vol. 1, No. 4. — P. 13–21.
62. *Catoire L., Naudet V.* A unique equation to estimate flash points of selected pure liquids and application to the correction of probably erroneous flash point values // *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. — 2004. — Vol. 33, No. 4. — P. 1083–1111.
63. *Catoire L., Paulmier S.* Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends // *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. — 2006. — Vol. 35, No. 1. — P. 9–14.
64. *Трегубов Д. Г., Тарахно О. В., Сухар С. В.* Розрахункове визначення температури спалаху рідини за її теплою випаровування // *Проблеми пожежної безпеки*. — 2010. — Вып. 28. — С. 167–170.
65. *Kanury A. M.* A relationship between the flash point, boiling point and the lean limit of flammability of liquid fuels // *Combustion Science and Technology*. — 1983. — Vol. 31, No. 5–6. — P. 297–302. doi: 10.1080/00102208308923647.
66. *Rowley J. R., Rowley R. L., Wilding W. V.* Estimation of the flash point of pure organic chemicals from structural contributions // *Process Safety Progress*. — 2010. — Vol. 29, No. 4. — P. 353–358. doi: 10.1002/prs.10401.
67. *Rowley J.* Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction : dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — Brigham Young University, 2010. — 261 p.
68. *Satyanarayana K., Rao P. G.* Improved equation to estimate flash points of organic compounds // *Journal of Hazardous Materials*. — 1992. — Vol. 32, No. 1. — P. 81–85. Цит по [45].
69. *Satyanarayana K., Krishna D.* Estimation of flash points for silane group organic compounds // *Indian Chemical Engineer. Section B*. — 2006. — Vol. 48, No. 2. — P. 130–131.
70. *Ishiiuchi Y.* Prediction of flash points of flammable liquids // *Anzen Kogaku*. — 1976. — Vol. 15. — P. 382–386. Цит по [74].
71. *Gharagheizi F., Ilani-Kashkouli P., Farahani N., Mohammadi A. H.* Gene expression programming strategy for estimation of flash point temperature of non-electrolyte organic compounds // *Fluid Phase Equilibria*. — 2012. — Vol. 329. — P. 71–77. doi: 10.1016/j.fluid.2012.05.015.
72. *Lyman W. J., Reehl W. F., Rosenblatt D. H.* Handbook of chemical property estimation methods. — Washington : American Chemical Society, 1990. — 960 p.
73. База данных “ChemSpider”. URL : <http://www.chemspider.com> (дата обращения: 01–10.12.2013 г.).
74. *Fujii A., Hermann E. R.* Correlation between flash point and vapor pressures of organic compounds // *Journal of Safety Research*. — 1982. — Vol. 13, No. 4. — P. 163–175. doi: 10.1016/0022-4375(82)90032-9.

Матеріал надійшов в редакцію 22 жовтня 2013 г.

FLASH POINT. PART III. CALCULATION VIA A BOILING TEMPERATURE

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

SMIRNOV V. V., Lecturer of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation); Postgraduate Student of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation; e-mail address: s_vitaly2006@list.ru)

ALEXEEV K. S., Postgraduate Student of Science and Engineering Centre "Reliability and Safety of Large Systems" of Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Studencheskaya St., 54a, Yekaterinburg, 620049, Russian Federation)

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

ABSTRACT

A survey of computational methods of flash points of combustible fluids in the closed cup via their boiling points is given. Development of the modified formula of Ormandy–Craven ($FP(^{\circ}C) = b TB(^{\circ}C) + a$) is shown, which is realized by means of a binding of coefficients a and b to any chemical property of linking (heat of combustion, heat of evaporation, density, stoichiometrical concentration, topological descriptors) or to its chemical structure. Other approaches to flash point forecasting are shown also:

$$FP(K) = a + b(TB(K)) + c(TB(K))^2; \quad \frac{1}{FP(R)} = -1,4568 \cdot 10^{-2} + \frac{2,84947}{TB(R)} + 1,903 \cdot 10^{-3} \ln(TB(R));$$

$$FP(K) = 23,369N_{FP}^{2/3} + 20,010N_{FP}^{1/3} + 31,901; \quad FP(K) = a + b(TB(K))^c;$$

$$\frac{FP(K)}{TB(K)} = 0,726 - 0,0000715 \left(\frac{H_c}{H_v} \right); \quad \frac{FP(K)}{TB(K)} = 0,8182 - 0,00004 \left(\frac{H_c}{H_v} \right) + \sum_{i=1}^m (\alpha_i n_i);$$

$$\ln \left(\frac{1}{LFL} \right) \geq 10,5 \left[\frac{TB(K)}{FP(K)} - 1 \right]; \quad FP(^{\circ}C) = TB(^{\circ}C) - \sqrt{\frac{14400}{LFL}};$$

$$FP(K) = 1,477(TB(K))^{0,79686} H_v^{0,16845} N_C^{-0,05948}; \quad FP(K) = \frac{TB(K)}{\frac{TB(K)}{H_v} R \ln(8\beta) + 1};$$

$$FP(K) = 0,2554 \frac{TB(K)}{(\beta + 1)^{0,2164}} \left(\frac{H_v}{R} \right)^{0,1606} + 6,31(\beta + 1)^{0,7} - 5,6 \cdot 10^{-5} \frac{H_v^{\circ} TB(K)}{R(\beta + 1)} + 0,0208 \left(\frac{H_v^{\circ}}{R} \right)^{0,8767};$$

$$FP(K) = a + b \left(\frac{c}{TB(K)} \right)^2 e^{-\frac{c}{TB(K)}} \left(1 - e^{-\frac{c}{TB(K)}} \right)^{-2}; \quad FP(K) = \left[(TB(K))^a + b \left(\frac{\beta}{760} \right)^{-a} + c \right]^{1/a}.$$

Keywords: flash point; calculation; forecasting; boiling temperature.

REFERENCES

1. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast I. Istoriya voprosa, definitsii, metody eksperimentalnogo opredeleniya [Flash Point. Part I. Question History, Definitions and Test Methods of Determination]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 35–41. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?is-sueid=1025030> (Accessed 15 October 2013).

2. Interstate Standard 12.1.044–89*. Occupational Safety Standards System. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989; IPK Izdatelstvo standartov, 1996, 2001. Available at: NSIS PB, 2012, no. 2 (48) (in Russian).
3. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast II. Raschet cherez davleniye nasyshchennogo para [Flash Point. Part II. Calculation via partial pressure]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 21–35. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1043314> (Accessed 15 October 2013).
4. Tideman B. G., Stsiborskiy D. B. *Khimiya goreniya* [Combustion chemistry]. Leningrad, Narkomkhoz RSFSR Publ., 1940, pp. 189–190.
5. Tarasov A. V., Stepanova I. V. *Protsessy goreniya i pokazateli pozharnoy opasnosti: uchebnoye posobiye* [Combustion processes and indices of fire hazard. Textbook]. Saint-Petersburg, Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Publ., 2008, pp. 15–16.
6. Wypych G. (ed.). *Handbook of Solvents*. Toronto, Chem. Tec. Publishing, 2001, p. 50.
7. Properties of flammable liquids, gases, and solids. *Industrial and Engineering Chemistry*, 1940, vol. 32, no. 6, pp. 880–884.
8. Möller W., Schulz P., Redeker T. Verfahren zur abschätzung des flammpunkts und der unteren explosionsgrenze. PTB-Bericht / W:55. Bremerhaven, Wirtschaftsverl, NW, 1993. 64 s. Cited by [66].
9. Shebeko Yu. N., Navtsenya V. Yu., Kopylov S. N., Gorshkov V. I., Korol'chenko I. A., Poletaev A. N., Vasina O. V., Verevkin V. N., Belov S. G. *Raschet osnovnykh pokazateley pozharovzryvoopasnosti veshchestv i materialov: rukovodstvo* [Calculation of main fire and explosion indices of compounds and materials. Manual]. Moscow, All-Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2002, pp. 11–13.
10. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosive hazard of compounds and materials, and their fire extinguishing means. Handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, vol. 1, pp. 64–66.
11. Baratov A. N., Ivanov Ye. N., Korol'chenko A. Ya., Minaev S. N., Piskov Yu. K., Storozhenko T. Ye. *Pozharnaya bezopasnost. Vzryvobezopasnost* [Fire safety. Explosion safety]. Moscow, Khimiya Publ., 1987, p. 45.
12. Shebeko Yu. N., Ivanov A. V., Korol'chenko A. Ya., Alekhina E. N., Barmakova A. A., Tereshina N. A. Manual no. 4r-82. Calculation of flash point and fire temperature for combustion liquids. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1983. 36 p. (in Russian).
13. Bodhurtha F. P. Industrial explosion prevention and protection. N. Y., McGraw-Hill Inc., 1980, p. 167.
14. Affens W. A. Flammability properties of hydrocarbon fuels. Interrelations of flammability properties of *n*-alkanes in air. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 1966, vol. 11, no. 2, pp. 197–202.
15. Akhmetzhanov I. S., Nikulina N. K., Dmitriev S. M. Relationship of flash point and boiling point for individual compounds. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 1974, vol. 10, no. 8, pp. 637–638.
16. Butler R. M., Cooke G. M., Lukk G. G., Jameson B. G. Prediction of flash points of middle distillates. *Industrial and Engineering Chemistry*, 1956, vol. 48, no. 4, p. 808–812.
17. Prugh R. W. Estimation of flash point temperature. *Journal of Chemical Education*, 1973, vol. 50, no. 2, pp. A85–A89.
18. Satyanarayana K., Kakati M. C. Note: Correlation of flash points. *Fire Materials*, 1991, vol. 15, no. 2, pp. 97–100. doi: 10.1002/fam. 810150208.
19. Gubina Ye. A., Zuev S. A., Merzlikin G. Yu. Sovershenstvovaniye raschetnykh metodov opredeleniya temperaturny vspyshki i vosplamneniya zhidkostey [Perfection of calculation methods of flash point and fire point of liquids]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2004, no. 4, pp. 61–63.
20. Korol'chenko A. Ya., Bobkov A. S., Zhuravlev V. S., Lant'ykhova L. V. Calculating the flash point of inflammable liquids. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 1969, vol. 5, no. 8, pp. 556–558.
21. Stoyanovich I. O., Saushev V. S., Le Suan Ty. Raschetnyye metody opredeleniya temperaturny vspyshki individualnykh zhidkostey v zakrytom tigle [Calculation methods of flash test of individual fluids in the closed cup]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti: Internet-zhurnal — Production Engineering of Technosphere Safety: Internet-Journal*, 2007, no. 2 (12). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-2/14-02-07.ttb.pdf> (Accesses 15.10.2013).
22. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. IV. Prostyye efiry [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. IV. Ethers]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 9–16. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 20 January 2013).

23. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Ispolzovaniye additivno-grupпового metoda dlya rascheta temperatury vspyshki spirtov, ketonov i slozhnykh efirov [Using of additive group method for calculating the flash point of alcohols, ketones and esters]. *Vestnik Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii — Bulletin of Ivanovo Institute of Fire Service of Emercom of Russia*, 2010, no. 1 (9). Available at: <http://www.edu-fire37.ru/contact/vestnik/> (Accessed 20 January 2013).
24. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Additive group techniques for calculating the flash point of alcohols, ketones and esters. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2011, vol. 84, no. 1, pp. 54–59. doi: 10.1134/S1070427211010095.
25. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniym. V. Karbovnyye kisloty [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. V. Carboxylic acids]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 35–46. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1025781> (Accessed 20 January 2013).
26. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Kalach A. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniym. XI. Galogenalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. XI. Haloalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 8, pp. 25–37.
27. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniym. IX. Khlorkalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. IX. Chloroalkany]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 13–21.
28. Chiorboli C., Gramatica P., Piazza R., Pino A., Todeshini R. 3D-modelling and prediction by WHIM descriptors. Part 7. Physico-chemical properties of haloaromatics. Comparison between WHIM and topological descriptors. *SAR and QSAR in Environmental Research*, 1997, vol. 7, no. 1–4, pp. 133–150. doi: 10.1080/10629369708039128.
29. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniym. VII. Nitroalkany [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VII. Nitroalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 22–24. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1080352> (Accessed 20 January 2013).
30. Batov D. V., Mochalova T. A., Petrov A. V. Opisaniye i prognozirovaniye temperatury vspyshki slozhnykh efirov v ramkakh additivno-grupпового metoda [Description and prediction of flash temperature of esters within the limits of additive-group method]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 2, pp. 15–18. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=651931> (Accessed 20 January 2013).
31. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniym. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VIII. Esters (part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 31–57. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1102946> (Accessed 2 March 2013).
32. Patil G. S. Estimation of flash point. *Fire and Materials*, 1988, vol. 12, no. 3, pp. 127–131. doi: 10.1002/fam.810120307.
33. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniym. VI. Aldegidy [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. VI. Aldehydes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 29–37. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1032598> (Accessed 20 January 2013).
34. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniym. II. Ketony (chast 1) [Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure. II. Ketones (part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 20 January 2013).
35. Petrov A. V., Batov D. V., Mochalova T. A. Primeneniye additivno-grupпового metoda dlya rascheta kharakteristik gorennya ketonov [Application of additive group method for calculating the flash point of ketones]. *Vestnik Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii — Bulletin of Ivanovo Institute of Fire Service of Emercom of Russia*, 2008, no. 1(9), pp. 46–49.
36. Wang K., Sun X. Correlation and calculation of the flash points of organic compounds. *Computers and Applied Chemistry*, 2001, no. Z1, pp. 581–584.
37. Valenzuela E. M., Vázquez-Román R., Patel S., Mannan M. S. Prediction models for the flash point of pure components. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2011, vol. 24, no. 6, pp. 753–757. doi: 10.1016/j.jlp.2011.04.010.

38. Oehley E. Ableitung empirischer gleichungen für die untere explosionsgrenze und den flammpunkt. *Chemie Ingenieur Technik*, 1953, Bd. 25, no. 7, ss. 399–403.
39. Gharagheizi F., Eslamimanesh A., Mohammadi A. H., Richon D. Empirical method for representing the flash-point temperature of pure compounds. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011, vol. 50, no. 9, pp. 5877–5880. doi: 10.1021/ie102246v.
40. Korol'chenko A. Ya., Liberman M. D. Calculation of the flash point of chemical substances. *Sbornik trudov VNIPO*, 1978, vol. 1, pp. 57–75. Cited by [66].
41. Metcalfe E., Metcalfe A. E. M. Communication: on the correlation of flash points. *Fire Materials*, 1992, vol. 16, no. 3, pp. 153–154. doi: 10.1002/fam.810160307.
42. Gharagheizi F., Keshavarz M. H., Sattari M. A simple accurate model for prediction of flash point temperature of pure compounds. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2012, vol. 110, no. 2, pp. 1005–1012. doi: 10.1007/s10973-011-1951-5.
43. Katritzky A. R., Petrukhin R., Jain R., Karelson M. QSPR analysis of flash points. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 2001, vol. 41, no. 6, pp. 1521–1530. doi: 10.1021/ci010043e.
44. Katritzky A. R., Stoyanova-Slavova I. B., Dobchev D. A., Karelson M. QSPR modeling of flash points: An update. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 2007, vol. 26, no. 2, pp. 529–536. doi: 10.1016/j.jm gm.2007.03.006.
45. Hristova M., Tchaoushev S. Calculation of flash points and flammability limits of substances and mixtures. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 2006, vol. 41, no. 3, pp. 291–296.
46. Vidal M., Rogers W. J., Holste J. C., Mannan M. S. A review of estimation methods for flash points and flammability limits. *Process Safety Progress*, 2004, vol. 23, no. 1, pp. 47–55. doi: 10.1002/prs.10004.
47. Perederin Yu. V. Mnogofaktornyy analiz i prognoz svoystv organicheskikh soyedineniy [The multi-factor analysis and the forecast of properties of organic compounds]. *Polzunovskiy vestnik — The Polzunov's Bulletin*, 2008, no. 3, pp. 61–62.
48. Perederin Yu. V. *Prognozirovaniye svoystv vysokoenergeticheskikh kompozitov s ispolzovaniyem informatsionnykh tekhnologiy. Dis. kand. tekhn. nauk* [Forecasting of properties of high-energy composites with use of information technology. Cand. tech. sci. diss.]. Biysk, 2013. 19 p.
49. Hshieh F. Y. Correlation of closed-cup flash points with normal boiling points for silicone and general organic compounds. *Fire and Materials*, 1997, vol. 21, no. 6, pp. 277–282. doi: 10.1002/(SICI)1099-1018(199711/12)21:6<277::AID-FAM617>3.0.CO;2-3.
50. Hshieh T. H., Hshieh F. Y. Closed-cup flash points and flammability properties of selected chemical compounds. *Journal of Fire Sciences*, 2005, vol. 23, no. 2, pp. 157–171. doi: 10.1177/0734904105045054.
51. Das B., Kumar S., Mondal P. Experimental measurement and correlation of flash point of alternate PUREX/UREX solvent (36 % TiAP) in C₈–C₁₆ diluents. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2011, vol. 289, no. 2, pp. 503–505. doi: 10.1007/s10967-011-1093-z.
52. Chen C.-C., Liaw H.-J., Tsai Y.-J. Prediction of flash point of organosilicon compounds using quantitative structure property relationship approach. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2010, vol. 49, no. 24, pp. 12702–12708. doi: 10.1021/ie101381b.
53. Riazi M. R., Daubert T. E. Predicting flash and pour point. *Hydrocarbon Processing*, 1987, vol. 66, no. 9, pp. 81–83. Cited by [66].
54. Palatinus J. A., Sams C. M., Beeston C. M., Carroll F. A., Argenton A. B., Quina F. H. Kinney revisited: an improved group contribution method for the prediction of boiling points of acyclic alkanes. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2006, vol. 45, no. 20, pp. 6860–6863. doi: 10.1021/ie0604425.
55. Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H. Improved prediction of hydrocarbon flash points from boiling point data. *Energy Fuels*, 2010, vol. 24, no. 9, pp. 4854–4856. doi: 10.1021/ef1005836.
56. Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H. Simple method to evaluate and to predict flash points of organic compounds. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011, vol. 50, no. 8, pp. 4796–4800. doi: 10.1021/ie1021283.
57. Godinho J. M., Carroll F. A., Quina F. H. A simple method to evaluate, correlate and predict boiling and flash points of alkynes. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2012, vol. 23, no. 10, pp. 1895–1899. doi: 10.1590/S0103-50532012005000064.
58. Godinho J. M., Lin C.-Y., Carroll F. A., Quina F. H. Group contribution method to predict boiling points and flash points of alkylbenzenes. *Energy Fuels*, 2011, vol. 25, no. 11, pp. 4972–4976. doi: 10.1021/ef201121b.
59. Carroll F. A., Lin C.-Y., Quina F. H. Calculating flash point numbers from molecular structure: an improved method for predicting the flash points of acyclic alkanes. *Energy Fuels*, 2010, vol. 24, no. 1, pp. 392–394. doi: 10.1021/ef900883u.

60. Carroll F. A., Godinho J. M., Quina F. H. Development of a simple method to predict boiling points and flash points of acyclic alkenes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011, vol. 50, no. 24, pp. 14221–14225. doi: 10.1021/ie201241e.
61. Vázquez-Román R., Valenzuela-Acosta E. M., Castillo-Borja F. Nuevos modelos para predecir el punto flash para alcanos puros. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2010, vol. 1, no. 4, pp. 13–21.
62. Catoire L., Naudet V. A unique equation to estimate flash points of selected pure liquids and application to the correction of probably erroneous flash point values. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 2004, vol. 33, no. 4, pp. 1083–1111.
63. Catoire L., Paulmier S. Estimation of closed cup flash points of combustible solvent blends. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 2006, vol. 35, no. 1, pp. 9–14.
64. Tregubov D. G., Tarakhno E. V., Sukhar E. V. Rozrakhunkove viznachennya temperaturi spalakhu ridini za ii teplotoyu viparovuvannya [Calculation definition of the liquid flashpoint in her heat evaporation]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti — Fire Safety Problems*, 2010, vol. 28, pp. 167–170.
65. Kanury A. M. A relationship between the flash point, boiling point and the lean limit of flammability of liquid fuels. *Combustion Science and Technology*, 1983, vol. 31, no. 5–6, pp. 297–302. doi: 10.1080/00102208308923647.
66. Rowley J. R., Rowley R. L., Wilding W. V. Estimation of the flash point of pure organic chemicals from structural contributions. *Process Safety Progress*, 2010, vol. 29, no. 4, pp. 353–358. doi: 10.1002/prs.10401.
67. Rowley J. *Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy*. Brigham Young University, 2010. 261 p.
68. Satyanarayana K., Rao P. G. Improved equation to estimate flash points of organic compounds. *Journal of Hazardous Materials*, 1992, vol. 32, no. 1, pp. 81–85. Cited by [45].
69. Satyanarayana K., Krishna D. Estimation of flash points for silane group organic compounds. *Indian Chemical Engineer*, Section B, 2006, vol. 48, no. 2, pp. 130–131.
70. Ishiuchi Y. Prediction of flash points of flammable liquids. *Anzen Kogaku*, 1976, vol. 15, pp. 382–386. Cited by [74].
71. Gharagheizi F., Ilani-Kashkouli P., Farahani N., Mohammadi A. H. Gene expression programming strategy for estimation of flash point temperature of non-electrolyte organic compounds. *Fluid Phase Equilibria*, 2012, vol. 329, pp. 71–77. doi: 10.1016/j.fluid.2012.05.015.
72. Lyman W. J., Reehl W. F., Rosenblatt D. H. *Handbook of chemical property estimation methods*. Washington, American Chemical Society, 1990. 960 p.
73. “Chempider” database. Available at: <http://www.chemspider.com> (Accessed 1–10 October 2013).
74. Fujii A., Hermann E. R. Correlation between flash point and vapor pressures of organic compounds. *Journal of Safety Research*, 1982, vol. 13, no. 4, pp. 163–175. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-4375\(82\)90032-9](http://dx.doi.org/10.1016/0022-4375(82)90032-9).

Ю. Н. СОРОКИНА, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры химии и процессов горения Воронежского института Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231; e-mail: sorokina-jn@mail.ru)

Т. В. ЧЕРНИКОВА, канд. хим. наук, доцент кафедры химии и процессов горения Воронежского института Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231)

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

УДК 614.841.41

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ МОЛЕКУЛЫ КЕТОНОВ НА ТЕМПЕРАТУРУ ВСПЫШКИ

Методом расчета дескрипторов установлена количественная корреляция между структурой вещества и пожароопасными свойствами для отдельных представителей гомологического ряда кетонов. Выявлено влияние структуры молекулы на температуру вспышки исследуемых веществ. Получено и экспериментально апробировано уравнение для прогнозирования температуры вспышки предельных кетонов.

Ключевые слова: кетоны; пожароопасные свойства; температура вспышки; дескрипторы.

Температура вспышки $T_{всп}$ — важнейшая характеристика пожароопасности вещества, определяющая температурные условия, при которых оно становится огнеопасным в открытом сосуде или при разливе. На основании данных по температурам вспышки производится классификация горючих веществ по воспламеняемости и определяются условия их безопасного хранения, транспортирования и применения. По температуре вспышки осуществляется оценка качества нефтепродуктов, а также категорирование производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности [1].

В связи с этим для определения температуры вспышки были разработаны экспериментальные и расчетные методы [2]. Найденные опытным путем значения $T_{всп}$ для ряда известных соединений приведены в литературе [3–6]. Однако имеющиеся литературные данные можно считать недостаточными, поскольку они охватывают не более 0,1 % от общего количества синтезированных к настоящему времени органических соединений. Экспериментальное определение температуры вспышки сопряжено с существенными техническими трудностями, а также с экономическими и временными затратами. Кроме того, важнейшей задачей исследователей в настоящее время является получение новых веществ с заданными свойствами. Поэтому разработка универсальных расчетных методов прогнозирования температуры вспышки органических соединений является актуальной задачей.

Методы прогнозирования температуры вспышки индивидуальных органических веществ можно разбить на две группы — дескрипторные и сравнительные. В качестве дескрипторов могут использоваться показатели физико-химических (давление насыщенного пара, температура кипения жидкостей) и пожароопасных свойств, структурные и молекулярные характеристики веществ.

Быстрое развитие и внедрение в практику научных исследований вычислительной техники и программных средств способствует все большему распространению численных методов исследования и прогнозирования свойств (физических, химических, биологических, экологических, технологических) простых и сложных веществ по данным, характеризующим свойства и строение их молекул (химическую структуру). Перспективным представляется метод, основанный на моделировании зависимости *структура – свойство*. С помощью моделей получают предварительные (оценочные) данные, которые могут быть использованы при анализе научных гипотез.

Настоящая работа является исследованием в области компьютерного прогнозирования пожароопасных свойств веществ и посвящена разработке моделирования зависимости *структура – класс опасности вещества*. С точки зрения методологии прогнозирования свойства рассматриваемый подход представляет собой неформализованную химиче-

скую задачу установления зависимости *структура – свойство*.

Одним из перспективных способов реализации данного подхода является описание структуры молекулы с помощью молекулярных дескрипторов и установление количественных корреляций между найденными значениями дескрипторов и различными свойствами веществ. Метод расчета дескрипторов основывается на теоретических представлениях топологии и теории графов [7, 8].

Ранее в работах [9, 10] на основе данных о дескрипторах, отражающих особенности строения молекулы и ее физические характеристики (топологические и геометрические индексы), нами были получены и апробированы уравнения для прогнозирования температуры вспышки различных классов органических веществ. Существенными преимуществами данного подхода являются отсутствие экспериментальных измерений и экспрессность прогнозирования [10].

Цель данной работы — анализ влияния структуры молекулы кетонов на температуру вспышки и исследование возможности прогнозирования последней с помощью метода расчета дескрипторов. В качестве объектов исследования были выбраны представители гомологического ряда предельных кетонов, являющихся жидкостями. Выбор представителей данного класса органических веществ обусловлен наличием литературных данных по их пожароопасным свойствам и широким применением этих соединений в химической и фармацевтической промышленности.

Теория метода расчета дескрипторов была детально описана ранее, в работе [9].

В [9, 10] установлено, что топологические и геометрические индексы хорошо коррелируют с некоторыми пожароопасными свойствами. Например, показана возможность оценки температуры вспышки альдегидов, предельных и ароматических сложных эфиров.

Для представителей предельных кетонов рассчитаны значения дескрипторов, характеризующих особенности топологии (индексы Виннера W и Рандича χ) и геометрии (гравитационные индексы G_1 , G_2 и площадь поверхности S) молекулы (табл. 1).

Установлено, что на величину топологического индекса Виннера W существенно влияют длина молекулы, наличие в ее структуре разветвлений, а также природа заместителей. Аналогичная зависимость установлена и для геометрических индексов G_1 , G_2 и площади поверхности молекулы S . Индекс Виннера и площадь поверхности молекулы возрастают при увеличении числа атомов углерода в цепи, причем для кетонов разветвленного строения эти дескрипторы имеют более низкие значения по сравне-

Таблица 1. Температура вспышки и молекулярные дескрипторы для исследуемых предельных кетонов

Вещество	$T_{всп}$, К	Дескриптор				
		W	χ	G_1	G_2	S , Å ²
Ацетон	264	9	3,58	285,9	378,8	94,7
2-Бутанон	272	18	4,28	169,0	255,2	132,2
2-Пентанон	286	32	5,00	363,9	505,3	160,0
4-Метил-2-пентанон	297	48	5,86	247,1	418,7	178,9
2-Гексанон	298	52	5,70	516,9	789,2	186,2
3-Гептанон	319	76	6,40	442,0	636,1	225,1
4-Октанон	326	108	7,11	680,1	1066,7	251,8
4-Деканон	344	202	8,53	842,6	1321,0	318,2
6-Ундеканон	361	261	9,23	924,2	1455,0	350,9
2,6,8-Триметил-4-нонанон	364	288	10,43	839,2	1359,2	318,2

Таблица 2. Результаты прогнозирования температуры вспышки предельных кетонов

Вещество	Температура вспышки, К		Абсолютная погрешность расчетов, К
	расчетная	справочная [3, 4, 11, 12]	
3-Метил-2-бутанон	285	274	11
3-Пентанон	286	280	6
2,4-Диметил-3-пентанон	308	296	12
3-Гексанон	305	308	3
2-Гептанон	319	312	7
4-Гептанон	316	322	6
3-Октанон	326	324	2
2-Октанон	332	333	1
2,2,4,4-Тетраметилпентанон-3	286	306	20
2,6-Диметил-4-гептанон	335	322	13
2-Нонанон	345	341	4
3-Нонанон	343	341	2
4-Нонанон	340	334	6
5-Нонанон	339	333	6
2-Деканон	354	355	1
2-Ундеканон	366	362	4
2-Додеканон	380	381	1
Средняя абсолютная погрешность, К			6

нию с нормальными кетонами при одинаковом числе атомов углерода в молекуле. Наибольшую чувствительность к положению карбонильной группы в углеродной цепи проявляют гравитационные индексы.

Анализ закономерностей изменения температуры вспышки в гомологическом ряду исследуемых кетонов также показал зависимость данного показателя пожароопасности от структуры молекулы (см. табл. 1) [3, 4, 11, 12]. Установлено, что температура вспышки вещества повышается с увеличением длины углеводородного радикала и снижается при смещении карбонильной группы к центру углеродной цепи.

Аналогичные закономерности в изменении значений дескрипторов и температуры вспышки кетонов указывают на взаимосвязь этих параметров.

В результате исследований было получено аппроксимационное уравнение (коэффициент корреляции $R^2 = 0,99$) для прогнозирования температуры вспышки предельных кетонов:

$$T_{\text{всп}} = 195,53 - 0,053W + 12,58\chi + 0,114G_1 - 0,075G_2 + 0,185S.$$

Апробация уравнения была проведена на группе веществ изучаемого класса, не вошедших в выборку при получении аппроксимационной зависимо-

сти. Результаты апробации представлены в табл. 2. Среднее отклонение рассчитанных по предложенному уравнению значений температуры вспышки от справочных не превышает 10 % (см. табл. 2).

Таким образом, прогнозирование пожароопасных свойств предельных кетонов, в частности температуры вспышки, на основе данных о молекулярных дескрипторах дает удовлетворительные результаты. Использование полученного уравнения позволяет без проведения сложного эксперимента рассчитать температуру вспышки предельных кетонов, в том числе тех, для которых отсутствуют литературные данные по пожароопасным свойствам. В качестве примера приведем рассчитанные по уравнению температуры вспышки следующих кетонов: 2-метил-3-пентанон — 284 К; 2,2-диметил-3-пентанон — 286 К; 5-деканон — 348 К; 2-метил-3-гексанон — 296 К; 3-ундеканон — 365 К.

Полученные закономерности носят общий характер, поэтому они применимы для прогнозирования и других пожароопасных свойств рассмотренных органических соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудаков О. Б., Алексеев С. Г., Бердникова Н. В., Калач А. В., Барбин Н. М. Пожаровзрывобезопасность хроматографической аналитической лаборатории // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 57–60.
2. ГОСТ 12.1.044–89*. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М.: Стандартинформ, 2006. — 100 с.
3. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник. — В 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Асс. “Пожнаука”, 2004. — Ч. I. — 713 с.
4. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник. — В 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Асс. “Пожнаука”, 2004. — Ч. II. — 774 с.
5. Рудаков О. Б., Черепашин А. М., Исаев А. А., Рудакова Л. В., Калач А. В. Температура вспышки бинарных растворителей для жидкостной хроматографии // Конденсированные среды и межфазные границы. — 2011. — Т. 13, № 2. — С. 191–195.
6. Рудаков О. Б., Калач А. В., Бердникова Н. В. Пожарная опасность водорастворимых растворителей и их водных растворов // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 2. — С. 31–32.
7. Боридко В. С. Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (химическая технология): дис. ... канд. техн. наук: 05.13.16 / Моск. гос. академия тонкой хим. пром. — М., 2000. — 107 с.
8. Девдариани Р. О. Новые топологические индексы в количественных соотношениях “структура–свойство”: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.03 / МГУ им. Ломоносова. — М., 1992. — 170 с.
9. Калач А. В., Карташова Т. В., Сорокина Ю. Н., Облиенко М. В. Прогнозирование пожароопасных свойств органических соединений с применением дескрипторов // Пожарная безопасность. — 2013. — № 1. — С. 70–74.
10. Калач А. В., Карташова Т. В., Сорокина Ю. Н., Спичкин Ю. В. Оценка пожароопасных свойств органических соединений с применением дескрипторов // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 18–21.
11. 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.

12. 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.

Материал поступил в редакцию 13 января 2014 г.

English

INFLUENCE OF STRUCTURE MOLECULE OF KETONES ON FLASHPOINT

SOROKINA Yu. N., Candidate of Technical Sciences, Docent, Associated Professor of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: sorokina-jn@mail.ru)

CHERNIKOVA T. V., Candidate of Chemical Sciences, Associated Professor of Chemistry and Combustion Department, Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation)

KALACH A. V., Doctor of Chemical Sciences, Docent, Deputy Head of the Institute for Research, Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: a_kalach@mail.ru)

ABSTRACT

The descriptors that reflect the structural features of the molecule and its physical characteristics (topological and geometrical indices) for representatives of the homologous series of limit ketones were calculated. The regularity in the increase of the values of all the studied descriptors with the complexity of the molecular structure was detected. Greatest impact on the value of descriptors renders the change in length of the carbon chain of ketones. Similar laws are fixed when analyzing of flashpoint test substances.

On the basis of data on descriptors of molecules and fire hazard properties found quantitative relationship between molecular structure and a flashpoint for members of a homologous series of limit ketones. The approximation's equation for predicting the flashpoint of limit ketones was obtained. The approbation of the obtained equation by the example of limit ketones, not included in sampling was conducted. Based on the results of the research concluded that approximation equation may be used for predicting the flashpoint of limit ketones.

Keywords: ketones; fire hazard; flashpoint; descriptors.

REFERENCES

- Rudakov O. B., Alekseev S. G., Berdnikova N. V., Kalach A. V., Barbin N. M. Pozharovzryvobezopasnost khromatograficheskoy analiticheskoy laboratorii [Fire and explosion safety chromatographic analytical laboratory]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 57–60.
- Interstate Standard 12.1.044–89*. Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 100 p. (in Russian).
- Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik. 2-e izd. [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference. 2nd ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.
- 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. 2nd ed.]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part II, 774 p.
- Rudakov O. B., Cherepakhin A. M., Isaev A. A., Rudakova L. V., Kalach A. V. Temperatura vspyshki binarnykh rastvoriteley dlya zhidkostnoy khromatografii [Temperature of flash of binary solvents for a liquid chromatography]. *Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granitsy — Condensed Environments and Interphase Borders*, 2011, vol. 13, no. 2, pp. 191–195.

6. Rudakov O. B., Kalach A. V., Berdnikova N. V. Pozharnaya opasnost vodorastvorimyykh rastvoriteley i ikh vodnykh rastvorov [Fire danger of water-soluble solvents and their water solutions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 31–32.
7. Boridko V. S. *Primeneniye vychislitel'noy tekhniki, matematicheskogo modelirovaniya i matematicheskikh metodov v nauchnykh issledovaniyakh (khimicheskaya tekhnologiya)*. Diss. kand. tekhn. nauk [The use of computer technology, mathematical modeling and mathematical methods in scientific research (chemical technology). Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2000. 107 p.
8. Devdariani R. O. *Novyye topologicheskkiye indeksy v kolichestvennykh sootnosheniyakh “struktura – svoystvo”*. Diss. kand. tekhn. nauk [New topological indices in the quantitative proportions of “structure – property”. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1992. 170 p.
9. Kalach A. V., Kartashova T. V., Sorokina Yu. N., Oblienko M. V. *Prognozirovaniye pozharoopasnykh svoystv organicheskikh soyedineniy s primeneniyyem deskriptorov* [Prediction of fire hazard properties of organic compounds using descriptors]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2013, no. 1, pp. 70–74.
10. Kalach A. V., Kartashova T. V., Sorokina Yu. N., Spichkin Yu. V. *Otsenka pozharoopasnykh svoystv organicheskikh soyedineniy s primeneniyyem deskriptorov* [Evaluation of the fire hazard properties of organic compounds by using descriptors]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 18–21.
11. Alekseev S. G., Barbin N. M., Alekseev K. S., Orlov S. A. *Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniem. III. Ketony (Chast 2)* [Communication of fire danger with a chemical structure. III. Ketones (Part 2)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 8–13.
12. Alekseev S. G., Barbin N. M., Alekseev K. S., Orlov S. A. *Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniem. III. Ketony (Chast 1)* [Communication of fire danger with a chemical structure. III. Ketones (Part 1)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15.



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

И. Р. ХАСАНОВ, д-р техн. наук, заместитель начальника института — начальник Научно-исследовательского центра профилактики пожаров и предупреждения ЧС с пожарами (НИЦ ПП и ПЧСП) ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: info@pojtest.ru)

М. В. ГРАВИТ, канд. техн. наук, доцент кафедры “Управление и защита в ЧС” Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (ФГБОУ ВПО СПбГПУ) (Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; e-mail: marina.gravit@mail.ru)

А. А. КОСАЧЕВ, канд. техн. наук, заместитель начальника Научно-исследовательского центра профилактики пожаров и предупреждения ЧС с пожарами (НИЦ ПП и ПЧСП) ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: vniipo@mail.ru)

А. В. ПЕХОТИКОВ, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела огнестойкости строительных конструкций и инженерного оборудования зданий ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: vniipo@mail.ru)

В. В. ПАВЛОВ, главный специалист сектора огнестойкости металлических и железобетонных конструкций ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: vniipo@mail.ru)

УДК 624.001.4.006.354

ГАРМОНИЗАЦИЯ ЕВРОПЕЙСКИХ И РОССИЙСКИХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, УСТАНОВЛИВАЮЩИХ ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕТОДАМ ИСПЫТАНИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРИМЕНЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ, УЧИТЫВАЮЩИХ РЕАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПОЖАРА

Рассматриваются основополагающие российские и европейские законодательные акты и нормативные документы, устанавливающие общие требования к методам испытаний на огнестойкость строительных конструкций и к применению температурных режимов, учитывающих реальные условия пожара. Сравниваются степени соответствия данных нормативных документов, гармонизированных различными методами (идентичные, модифицированные, неэквивалентные); анализируется общность и различие приведенных в них положений, критериев и параметров. Приводятся данные по новым проектам стандартов по огнестойкости; обосновывается их совместное применение ввиду введения дополнительных температурных режимов, учитывающих реальные условия пожара: углеводородного, наружного пожара и медленно развивающегося пожара (тлеющий режим). Приводятся зависимости, определяющие данные температурные режимы. Делается вывод о необходимости глобальной систематизации расчетных и экспериментальных методов оценки огнестойкости строительных конструкций и гармонизации их с действующей нормативно-правовой базой Российской Федерации в области пожарной безопасности.

Ключевые слова: гармонизированные стандарты; методы испытаний на огнестойкость; конструкции строительные; альтернативные и дополнительные методы; углеводородный температурный режим; наружный температурный режим; медленно развивающийся (тлеющий) температурный режим.

Одним из важнейших событий последнего десятилетия для Российской Федерации является вступление во Всемирную торговую организацию (ВТО) и образование Таможенного союза. Интеграция России в европейскую экономику невозможна без анализа сходства и различий в требованиях и нормах, методах испытаний, принципах классификации и идентификации продукции, а в конечном сче-

те — без гармонизации российской нормативной документации с международной, в том числе европейской.

Для разработки национальных стандартов на основе применения международных стандартов используются официальные переводы последних на русский язык или иные переводы, одобренные секретариатами соответствующих технических коми-

тетов по стандартизации, а также стандарты ИСО, СЕН и МЭК, изданные на русском языке.

Авторами статьи рассмотрены основополагающие российские и европейские нормативные документы, касающиеся огнестойкости строительных конструкций и различных температурных режимов, учитывающих реальные условия пожара (см. таблицу). Согласно данным таблицы нормативные документы гармонизированы между собой различными методами. Методы гармонизации национальных стандартов с международными определяются в соответствии с ГОСТ Р 1.7–2008 [1].

В международном масштабе совершенствованием и унификацией методологии испытаний строительных конструкций на огнестойкость занимается Технический комитет 92 “Пожарная безопасность” Международной организации по стандартизации (ИСО). В рамках этого комитета и на основе широкого международного сотрудничества был разработан стандарт на метод испытания строительных конструкций на огнестойкость ИСО 834–75 (в актуализированной редакции ISO 834-1:1999 [2]), который является методологической основой для проведения таких испытаний.

В российские стандарты по огнестойкости включены положения международного стандарта ISO 834-1:1999 [2] и часть положений национальных стандартов BS 476-10 [3], CSN 730-85 [4], DIN 4102-2 [5] и др.

Испытания строительных конструкций на огнестойкость проводятся в соответствии с ГОСТ 30247.0–94 [6], который частично представляет собой аутентичный текст ISO 834-1:1999 [2], регламентирует общие требования к методам испытаний на огнестойкость строительных конструкций и эле-

ментов инженерных систем при стандартных условиях теплового воздействия и применяется для определения пределов огнестойкости. Данный стандарт [6] является основополагающим по отношению к стандартам на методы испытаний на огнестойкость конкретных типов конструкций и входит в “Перечень национальных стандартов и сводов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (с изм. на 01.07.2010 г.) [7]. Поскольку ГОСТ 30247.0–94 [6] является межгосударственным стандартом, он принят тремя странами Таможенного союза при разработке Технического регламента Таможенного союза “О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения”.

При установлении пределов огнестойкости конструкций в целях определения возможности их применения в соответствии с противопожарными требованиями нормативных документов (в том числе при сертификации) следует применять методы, установленные стандартом [6]. Согласно ему предельное состояние конструкции по огнестойкости — состояние конструкции, при котором она утрачивает способность сохранять одну из своих противопожарных функций:

- несущую способность вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций (R);
- целостность в результате образования в конструкциях сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя (E);

Сравнение основополагающих российских и европейских нормативных документов, устанавливающих общие методы испытаний на огнестойкость конструкций и применение температурных режимов, учитывающих реальные условия пожара

Российский нормативный правовой акт или нормативный документ	Европейский нормативный документ	Различие и сходство	Степень соответствия нормативных документов
Федеральный закон № 123-ФЗ, гл. 10 [7]	Директива 89/106/ЕС [8]. EN 1991-1-2–2009. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости [9]. EN 13501-2:2009+A1:2009. Часть 2. Классификация, использующая данные испытаний о реакции горения при испытании на огнестойкость, исключая вентиляцию [10]	Соответствие по параметрам огнестойкости (R, E, I, W, S), стандартному температурному режиму. Различия в наличии углеводородного, наружного и тлеющего режимов пожара, а также в обозначениях параметров пределов огнестойкости, полученных при различных температурных режимах (наружный пожар — “ef”; углеводородный — “HC”). Для вертикальных ограждающих конструкций требуется выполнение предельного состояния М (ударная горизонтальная сосредоточенная нагрузка согласно EN 1363-2:1999 [11])	—

Российский нормативный правовой акт или нормативный документ	Европейский нормативный документ	Различие и сходство	Степень соответствия нормативных документов
ГОСТ 30247.0–94 [6]	EN 1363-1:1999. Испытания на огнестойкость. Часть 1. Общие требования [12]. Регламентирует определенные огнестойкости элементов конструкции при стандартных условиях пожара. Действует совместно с ENV 1363-3:2000. ENV 1363-3:2000. Испытания на огнестойкость. Часть 3. Проверка эксплуатационных характеристик печей [13]	Идентичны стандартный температурный режим (отличие в температуре, установленной для начала испытаний: в [6] в качестве начальной принимается температура помещения, в [12] — 20 °С), образцы для испытаний конструкций, предельные состояния. В процессе испытания в печах поддерживается избыточное давление (10±2) Па по российским стандартам, не более 20 Па — по европейским. В европейском стандарте введено понятие “принцип расширенного применения”	Для разделов 6, 7, 9 — аутентичный текст ISO 834-1:1999 [2]
ГОСТ Р EN 1363–2 (проект) [14]	EN 1363-2:1999. Испытания на огнестойкость. Альтернативные и добавочные процедуры [11]	Определяет различные температурные режимы пожара и дополнительные методы: испытание на удар и определение (измерение) теплового потока. Название и содержание изменены согласно п. 8 ГОСТ Р 1.5–2004 [15]	Идентичен EN 1363-2:1999 [11]. Не имеет официального перевода ссылочных стандартов
Изм. к ГОСТ 30247.0–94 (проект) [16]	ISO 834-1:1999 [2], EN 1363-1:1999 [12], EN 1363-2:1999 [11]	Различия в допусках к температурным режимам, начальных температурах испытаний. В [16] введены дополнительные температурные режимы для испытаний на огнестойкость строительных конструкций, которые приняты эквивалентными EN 1363-2:1999 [11]. В российский документ введены обозначения параметров пределов огнестойкости, полученных при различных температурных режимах (НС — углеводородная кривая, Е — наружная кривая, S — тлеющая кривая)	Неэквивалентен ISO 834-1:1999 [2], EN 1363-1:1999 [12], EN 1363-2:1999 [11]. Разделы 6, 7, 9 — аутентичный текст ISO 834-1:1999 [2]
ГОСТ Р 54081–2010 (МЭК 60721-2-8:1994) [17]	IEC 60721-2-8:1994 [18]	Приводятся стандартный температурный режим и режим наружного пожара; определение тлеющего пожара, физических процессов и характеристик, относящихся к возникновению и развитию пожара в зданиях, а также опасных факторов пожара, являющихся внешними условиями, воздействующими на изделия	Модифицирован по отношению к IEC 60721-2-8:1994 [18]

Примечание. *Гармонизированные стандарты* — стандарты, которые приняты различными, занимающимися стандартизацией органами, распространяются на один и тот же объект стандартизации и обеспечивают взаимозаменяемость продукции, процессов или услуг и/или взаимное понимание результатов испытаний и информации, представляемой в соответствии с этими стандартами. В международной стандартизации, наряду с термином “гармонизированные стандарты”, применяется термин-синоним “эквивалентные стандарты”.

Идентичные стандарты (IDT) — гармонизированные стандарты, которые идентичны по содержанию и форме представления. При изложении идентичных стандартов, как правило, используют аутентичные переводы.

Модифицированные стандарты (MOD) — гармонизированные стандарты, которые имеют технические отклонения и/или различия по форме при условии их идентификации и объяснения.

Неэквивалентные стандарты (NEQ) — стандарты, которые имеют неидентифицированные технические отклонения и/или различные по форме представления. Неэквивалентные стандарты не являются гармонизированными [1].

- теплоизолирующую способность вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных для данной конструкции значений (I).

Дополнительные предельные состояния конструкций и критерии их наступления при необходимости устанавливаются в стандартах на испытания конкретных конструкций.

Температурные режимы, учитывающие реальные условия пожара, могут существенно отличаться от режима стандартного пожара, используемого при испытаниях конструкций на соответствие требованиям Федерального закона [7] и стандарта [6]. При определении ряда параметров огнестойкости зданий и сооружений возникает необходимость выбора температурного режима, который при огневых испытаниях позволил бы сравнивать поведение различных испытуемых объектов в условиях, максимально приближенных к условиям реального пожара.

В системе европейской стандартизации (см. таблицу) регламентируются так называемые альтернативные температурные режимы — наружного, медленно развивающегося (тлеющего) и углеводородного пожара.

С учетом вышеизложенного российскими специалистами подготовлена окончательная редакция изменения № 1 к ГОСТ 30247.0–94 [16]. Изменение направлено прежде всего на расширение методологической базы экспериментального определения пределов огнестойкости строительных конструкций, в том числе на введение дополнительных температурных режимов, а также на устранение неточностей, связанных с исключением из числа действующих ряда нормативных документов.

Изменения касаются следующих положений и параметров:

- корректировки нормативных ссылок, удаления ссылок на устаревший СТ СЭВ 383–87 “Пожарная безопасность в строительстве. Термины и определения”;
- корректировки и дополнения терминами и определениями “огнестойкость конструкции”, “предел огнестойкости конструкции”, “пламя”;
- включения дополнительных требований к конструкции печных термопар;
- введения дополнительных приспособлений для определения предельного состояния конструкции по потере целостности;
- введения дополнительных температурных режимов, рекомендуемых при испытаниях на огнестойкость строительных конструкций: углеводородного, тлеющего и наружного пожара;
- уточнения по оценке результатов испытаний.

Одновременно с работой над совершенствованием ГОСТ 30247.0–94 [6] также в окончательной редакции подготовлен проект ГОСТ Р ЕН 1363-2 [14] как идентичный европейскому стандарту EN 1363-2:1999 [11]. Наименование стандарта изменено в соответствии с [15].

Целью разработки стандарта ГОСТ Р ЕН 1363-2 [14] является гармонизация подхода к выбору температурных режимов для конкретных объектов, прежде всего объектов нефтегазового комплекса и предприятий химической промышленности.

Стандарт действует совместно с EN 1363-1:1999 [12] и содержит детальные сведения о трех альтернативных температурных режимах, учитывающих реальные условия пожара — углеводородного, наружного и медленно развивающегося (тлеющего) (см. рисунок). Содержит описание испытаний строительных конструкций, подвергшихся огневому воздействию, на удар, а также способы измерения теплового потока и пояснения, в каких случаях целесообразно проводить данные испытания (измерения).

Ниже приведены параметрические зависимости, изложенные в двух проектах нормативных документов — ГОСТ 30247.0–94 с изм. 1 [16] и ГОСТ Р ЕН 1363-2 [14], описывающих альтернативные температурные режимы, учитывающие реальные условия пожара, при помощи которых можно создать данные температурные режимы в огневой камере печи при испытаниях строительных конструкций на огнестойкость.

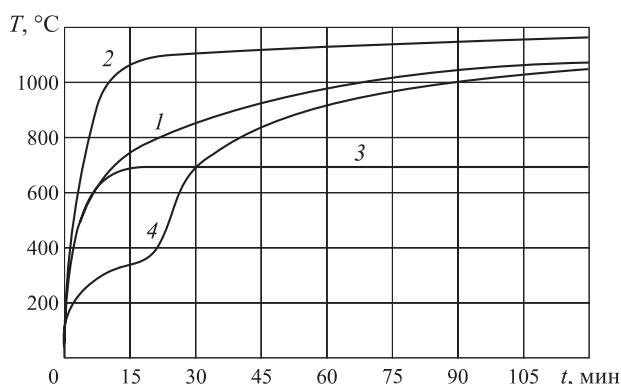
Температурные режимы пожара определяются следующими зависимостями:

- углеводородный пожар:

$$T - T_0 = 1080 (1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}); \quad (1)$$

- наружный пожар:

$$T - T_0 = 660 (1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}); \quad (2)$$



Графики зависимости температура–время [11, 14] для температурных режимов пожара: 1 — стандартный; 2 — углеводородный; 3 — наружный; 4 — медленно развивающийся (тлеющий)

- тлеющий пожар:

$$T - T_0 = 154t^{0,25} \text{ при } 0 < t < 21; \quad (3)$$

$$T - T_0 = 345 \lg[8(t - 20) + 1] \text{ при } t > 21, \quad (4)$$

где T — температура в печи, соответствующая времени t , °С;

T_0 — температура в печи до начала теплового воздействия (принимается равной температуре окружающей среды), °С;

t — время, исчисляемое с момента начала испытания, мин.

В стандарте [11] и проекте стандарта [14] изложен метод испытаний на удар ограждающих конструкций, поскольку огнестойкость определенных типов конструкций, выполняющих функции ограждающих, может быть нарушена в результате механического воздействия, возникающего из-за повреждения при возгорании других строительных деталей и объектов, несущих нагрузку. При необходимости данный метод может быть применен для несущих и ненесущих конструкций с различными пределами огнестойкости.

При отсутствии необходимости в огневых испытаниях в условиях альтернативных температурных режимов предусмотрено проведение испытаний по стандартному температурному режиму согласно EN 1363-1:1999 [12].

Рассматривая вышеуказанные нормативные документы, необходимо отметить, что разработанные проекты стандартов [14, 16] имеют некоторые сходные положения. Это обстоятельство обусловлено следующими предпосылками, учитывающими реальную ситуацию в данной области:

- введение нормативов, позволяющих проводить огневые испытания строительных конструкций на огнестойкость при температурных режимах, отличных от стандартного, имеет высокую актуальность;
- ГОСТ 30247.0–94 с изм. 1 [16] определяет рекомендуемые условия теплового воздействия при испытаниях на огнестойкость строительных конструкций, применяемые в дополнение к испытаниям конструкций по стандартному температурному режиму; в то же время ГОСТ Р EN 1363-2 [14] представляет вышеуказанные температурные режимы как альтернативные стандартному температурному режиму;
- ГОСТ Р EN 1363-2 [14] является проектом национального стандарта, регламентирующего требования, основанные на европейской системе стандартизации. В связи с этим он не может быть использован в качестве нормативного документа, в результате применения которого обеспечивается соблюдение требований Федерального закона [7]. Вместе с тем данный доку-

мент может применяться при оценке соответствия качества продукции в рамках добровольной сертификации, а также при установлении пожарно-технических характеристик строительных конструкций и средств огнезащиты;

- процедура принятия изменений для межгосударственного стандарта [16] намного сложнее, чем для национальных стандартов; она включает обсуждение документа несколькими странами — разработчиками стандарта, в том числе странами Таможенного союза, и обязательное вынесение проекта на рассмотрение в Международный технический комитет (МТК).

Таким образом, основополагающие российские документы, устанавливающие общие методы испытаний на огнестойкость конструкций и применение температурных режимов, в настоящее время имеют высокую степень гармонизации с международными и европейскими аналогами. Так, ГОСТ 30247.0–94 с изм. 1 [16] в части разделов, касающихся стандартного температурного режима, образцов для испытаний конструкций, предельных состояний, является аутентичным соответствующим положением международного стандарта ISO 834-1:1999 [2]; проект стандарта ГОСТ Р EN 1363-2 [14], определяющий температурные режимы и дополнительные методы испытаний, идентичен европейскому стандарту EN 1363-2:1999 [11]. Соответственно, испытательное оборудование, выполненное по российским нормативным документам, в большинстве случаев может быть применено для проведения огневых испытаний по методам стандартов Европейского содружества (EN).

В заключение стоит отметить, что речь идет лишь о первых шагах в направлении гармонизации российских, европейских и международных стандартов, поскольку система стандартизации EN только в части методов определения огнестойкости строительных конструкций и методов определения огнезащитной эффективности содержит более 60 нормативных документов, большинство из которых не имеет аналогов в российской нормативной базе [19].

В настоящее время поддерживается инициатива по определению совокупности гармонизированных технических правил для проектирования строительных работ, которые могли бы выступить в качестве альтернативы действующим национальным правилам. Речь идет о так называемых Еврокодах (европейских нормах линейки EN 1990, ..., EN 1999), составляющих технический кодекс установившейся практики. Данные нормативные документы содержат, в частности, расчетные методики по проектированию строительных конструкций (стальных, железобетонных, деревянных и пр.) с заданными параметрами огнестойкости. Так, например, стан-

дарт EN 1991-1-2:2002 [9] использует рассмотренные выше температурные режимы при определении пределов огнестойкости строительных конструкций расчетным методом. Данный подход, несомненно, имеет большие перспективы по внедрению в Российской Федерации, однако он должен быть тщательно изучен и апробирован на ряде строительных конструкций, которые рассматриваются в качестве объекта защиты.

По мнению авторов, процесс гармонизации европейских и российских нормативных документов, устанавливающих общие требования к методам оценки огнестойкости строительных конструкций, должен проводиться в следующих направлениях:

- уточнение методологии расширенного применения результатов испытаний на огнестойкость, изложенных в EN 1363-1 [12], которая позволяет интерполировать или экстраполировать данные, полученные для конструкции по стандартному методу испытания, согласно установлен-

ным в соответствующем нормативном документе правилам [20];

- применение расчетных методов с использованием экспериментальных данных, полученных при воздействии на строительные конструкции температурных режимов, учитывающих реальные условия пожара;
- гармонизация документов, содержащих методики оценки результатов испытаний на огнестойкость, в том числе с использованием средств огнезащиты, на основе дифференциальных уравнений, методов числовой регрессии, методов графического представления;
- глобальная систематизация рассматриваемых расчетных и экспериментальных методов оценки огнестойкости строительных конструкций и гармонизация их с действующей нормативно-правовой базой Российской Федерации в области пожарной безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 1.7–2008. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила оформления и обозначения при разработке на основе применения международных стандартов. — Введ. 25.12.2008 г. — М.: Стандартинформ, 2009. — 42 с.
2. ISO 834-1:1999/Amd. 1:2012. Fire resistance tests — Elements of building constructions — Part 1: General requirements — Amendment 1. — Published: 06.01.2012. URL : http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?ics1=13&ics2=220&ics3=50&csnumber=2576 (дата обращения: 21.10.2013 г.).
3. BS 476-10:2009. Fire tests on building materials and structures. Guide to the principles, selection, role and application of fire testing and their outputs. Published: December 2008. URL : <http://shop.bsi-group.com/ProductDetail/?pid=00000000030147205> (дата обращения: 21.10.2013 г.).
4. CSN 730–85. Zkoušení tepelných mostů stavebních dílců a částí konstrukcí Skrytanotaci. Leden 1985. URL : http://www.technicke-normy-csn.cz/730851-csn-en-1363-1_4_58089.html (дата обращения: 21.10.2013 г.).
5. DIN 4102-2:1977-09. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabedatum 1977-09. URL : <http://www.baunormenlexikon.de/Normen/DIN/DIN%204102-2/ecacc4d1-d44d-4b90-9089-ab21c7761eeb> (дата обращения: 21.10.2013 г.).
6. ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75). Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. — Введ. 01.01.1996 г. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996; 2003. — 8 с.
7. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ (в ред. Федер. закона от 10.07.2012 г. № 117-ФЗ); принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Российская газета. — 2008. — № 163.
8. Construction Products Directive 89/106/EC (Council Directive 89/106/EEC), website of European Commission. Published: 11.02.89. URL : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989L0106:en> (дата обращения: 21.10.2013 г.).
9. EN 1991-1-2–2009. Eurocode 1 — Actions on structures. Part 1–2: General actions — Actions on structures exposed to fire. Edition: 2009-08-01. URL : <http://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=B6FC4B28FB1218F6FCDA96DBE87FB375?preview=&dokkey=339992&selectedLocale=en> (дата обращения: 21.10.2013 г.).
10. EN 13501-2:2007+A1:2009. Fire classification of construction products and building elements — Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. Edition: 2010-02-15. Published: 31 January 2008. URL : <http://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=0DC9F63EDDB50DD38A1EC03A7182A119?preview=&dokkey=354454&selectedLocale=en> (дата обращения: 21.10.2013 г.).

11. EN 1363-2:1999. Fire resistance tests. Alternative and additional procedures. Published: November 1999. URL : <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=00000000019969922> (дата обращения: 21.10.2013 г.).
12. EN 1363-1:1999. Fire resistance tests. General requirements. Published: 15 November 1999. URL : <http://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=00000000019969914> (дата обращения: 21.10.2013 г.).
13. ENV 1363-3:2000. Fire resistance tests — Part 3: Verification of furnace performance. Published: June 2000. URL : <http://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=00000000030009809> (дата обращения: 21.10.2013 г.).
14. ГОСТ Р ЕН 1363-2. Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Альтернативные и дополнительные методы (проект, окончательная редакция). Сайт ФБГУ ВНИИПО МЧС России, раздел “Техническое регулирование”. URL : http://www.vniipo.ru/news/tex_regl.php (дата обращения: 21.10.2013 г.).
15. ГОСТ Р 1.5–2004. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения. — Введ. 01.01.2005 г. — М. : Стандартинформ, 2008. — 32 с.
16. Изм. к ГОСТ 30247.0–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования (проект, окончательная редакция). Сайт ФБГУ ВНИИПО МЧС России, раздел “Техническое регулирование”. URL : http://www.vniipo.ru/news/tex_regl.php (дата обращения: 21.10.2013 г.).
17. ГОСТ Р 54081–2010 (МЭК 60721-2-8:1994). Воздействие природных внешних условий на технические изделия. Общая характеристика. Пожар. — Введ. 01.07.2011 г. — М. : Стандартинформ, 2011. — 32 с.
18. IEC 60721-2-8:1994. Classification of environmental conditions — Part 2: Environmental conditions appearing in nature — Fire exposure. Published: 01.06.1994. URL : <http://www.tnpa.by/Kartochka-Doc.php?UrlIRN=46327&UrlIDGLOBAL=46327> (дата обращения: 21.10.2013 г.).
19. *Гравит М. В., Дмитриева Ю. Н.* Анализ европейских и российских нормативных документов, содержащих требования к методам испытаний на огнестойкость строительных конструкций // *Материалы XXIV Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности, посвященной 75-летию создания института* : тез. докл. — Ч. 1. — М. : ФБГУ ВНИИПО, 2012. — С. 342–346.
20. *Хасанов И. Р., Еремина Т. Ю., Гравит М. В., Макеев А. А.* Использование принципа расширенного применения результатов испытаний строительных конструкций и материалов в европейской системе нормирования пожарной безопасности // *Архитектура и строительство России*. — 2013. — № 3. — С. 24–28.

Материал поступил в редакцию 29 октября 2013 г.

English

HARMONIZATION OF EUROPEAN AND RUSSIAN REGULATORY DOCUMENTS ESTABLISHING GENERAL REQUIREMENTS FOR FIRE-RESISTANCE TEST METHODS OF BUILDING CONSTRUCTIONS AND THE USE OF TEMPERATURE CURVES THAT TAKE INTO ACCOUNT REAL FIRE CONDITIONS

KHASANOV I. R., Doctor of Technical Sciences, Deputy Head of the Institute – Chief of Scientific Research Center for Fire Prevention and Fire Prevention of Emergencies, Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail address: info@pojtest.ru)

GRAVIT M. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Management and Protection in Emergencies, St. Petersburg State Polytechnical University (Polytekhnicheskaya St., 29, St. Petersburg, 195251, Russia Federation; e-mail address: marina.gravit@mail.ru)

KOSACHEV A. A., Candidate of Technical Sciences, Deputy Chief of Scientific Research Center for Fire Prevention and Fire Prevention of Emergencies, Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail address: vniipo@mail.ru)

PEKHOTIKOV A. V., Candidate of Technical Sciences, Deputy Chief of Fire Resistance of Building Structures and Building Equipment, Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail address: vniipo@mail.ru)

PAVLOV V. V., Senior Specialist of the Sector of Fire Resistance of Metal and Reinforced Concrete Structures, Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail address: vniipo@mail.ru)

ABSTRACT

The basic Russian and European laws and normative documents that establish general requirements for methods of fire tests of building constructions and the use of temperature conditions that take into account real fire conditions are provided. The degree of conformity these regulatory documents harmonized by different methods (identical, modified, non-equivalent) are compared; similarities and differences provisions, criteria and parameters are analyzed. The data on the newly the draft standards for fire resistance is represented; justified their joint action, by reason of the introduction of additional of temperature conditions that take into account real conditions of fire: hydrocarbon curve, external fire exposure curve, slow heating curve. Established that at the moment most of the standards have a high degree of harmonization among themselves. Is forecast to continue the process of harmonization of European and Russian regulatory documents in the direction of development methodology extended application of test results for fire resistance; harmonization document containing techniques of assessing results fire tests, including with use of fire protection based on differential equations, numerical methods regression, methods graphical representation. The conclusion is the need for global systematization of calculated and experimental methods for assessing fire resistance of building structures and their harmonization with the existing legal and regulatory framework of the Russian Federation in the field of fire safety.

Keywords: harmonized standards; fire-resistance test methods; elements of building constructions; alternative and additional methods; hydrocarbon curve; external fire exposure curve; slow heating curve.

REFERENCES

1. National Standard of Russian Federation 1.7–2008. Standardization in the Russian Federation. National standards of the Russian Federation. Rules of presentation and indication by development on the basis of application of international standards. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 42 p. (in Russian).
2. ISO 834-1:1999. Fire resistance tests — Elements of building constructions. Available at: http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?ics1=13&ics2=220&ics3=50&csnumber=2576 (Accessed 21 October 2013).
3. BS 476-10:2009. Fire tests on building materials and structures — Guide to the principles, selection, role and application of fire testing and their outputs. Published: December 2008. Available at: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030147205> (Accessed 21 October 2013).
4. CSN 730–85. Zkoušení tepelných mostů stavebních dílců a částí konstrukcí Skřýtanotaci. Leden 1985. Available at: http://www.technicke-normy-csn.cz/730851-csn-en-1363-1_4_58089.html (Accessed 21 October 2013).
5. DIN 4102-2:1977-09. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen. Ausgabedatum 1977-09. Available at: <http://www.baunormenlexikon.de/Normen/DIN/DIN%204102-2/ecacc4d1-d44d-4b90-9089-ab21c7761eeb> (Accessed 21 October 2013).
6. Interstate Standard 30247.0–94. Elements of building constructions. Fire-resistance tests methods. General requirements. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2003. 8 p. (in Russian).
7. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law No. 123 (in the red. Federal Law of 10.07.2012 No. 117). *Rossiyskaya gazeta* — *Russian Newspaper*, 2008, no. 163 (in Russian).
8. Construction Products Directive 89/106/EC (Council Directive 89/106/EEC). Website of European Commission. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989L0106:en> (Accessed 21 October 2013).

9. EN 1991-1-2–2009. Eurocode 1 — Actions on structures. Part 1–2: General actions — Actions on structures exposed to fire. Edition: 2009-08-01. Available at: <http://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=B6FC4B28FB1218F6FCDA96DBE87FB375?preview=&dokkey=339992&selectedLocale=en> (Accessed 21 October 2013).
10. EN 13501-2:2007+A1:2009. Fire classification of construction products and building elements. Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. Edition: 2010-02-15. Published 31 January 2008. Available at: <http://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=0DC9F63EDDB50DD38A1EC03A7182A119?preview=&dokkey=354454&selectedLocale=en> (Accessed 21 October 2013).
11. EN 1363-2:1999. Fire resistance tests. Alternative and additional procedures. Published: November 1999. Available at: <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=0000000001996992> (Accessed 21 October 2013).
12. EN 1363-1:1999. Fire resistance tests. General requirements. Published: November 1999. Available at: <http://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=00000000019969914> (Accessed 21 October 2013).
13. ENV 1363-3:2000. Fire resistance tests — Part 3: Verification of furnace performance. Published: June 2000. Available at: <http://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=00000000030009809> (Accessed 21 October 2013).
14. State Standard EN 1363-2. Fire resistance tests. Alternative and additional procedures. Available at: http://www.vniipo.ru/news/tex_regl.php (Accessed 21 October 2013) (in Russian).
15. National Standard of Russian Federation 1.5–2004. Standardization of Russian Federation. National Standards of the Russian Federation. Rules of structure, drafting, presentation and indication. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 32 p. (in Russian).
16. Revision of the Interstate Standard 30247.0–94. Elements of building constructions. Fire-resistance tests methods. General requirements. Site of FBGU All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia. Available at: http://www.vniipo.ru/news/tex_regl.php (Accessed 21 October 2013) (in Russian).
17. National Standard of Russian Federation 54081–2010 (IEC 60721-2-8:1994). Influence of environmental conditions appearing in nature on the technical products. Overall performance. Fire. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 32 p. (in Russian).
18. IEC 60721-2-8:1994. Classification of environmental conditions — Part 2: Environmental conditions appearing in nature — Fire exposure. Published: 01.06.1994. Available at: <http://www.tnpa.by/KartochkaDoc.php?UrlRN=46327&UrlIDGLOBAL=46327> (Accessed 21 October 2013).
19. Gravit M. V., Dmitrieva Yu. N. Analiz yevropeyskikh i rossiyskikh normativnykh dokumentov, sodержashchikh trebovaniya k metodam ispytaniy na ognestoykost stroitelnykh konstruksiy [The analysis of European and Russian regulatory documents containing requirements for methods of fire resistance tests of building constructions]. *Materialy XXIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po problemam pozharной bezopasnosti, posvyashchennoy 75-letiyu sozdaniya instituta. Tezisy dokladov* [Materials of XXIV International scientific-practical conference on problems of fire safety, devoted to the 75th anniversary of the Institute. Theses of reports]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2012, part 1, pp. 342–346.
20. Khasanov I. R., Eremina T. Yu., Gravit M. V., Makeev A. A. Ispolzovaniye printsipa rasshirennogo primeneniya rezultatov ispytaniy stroitelnykh konstruksiy i materialov v yevropeyskoy sisteme normirovaniya pozharной bezopasnosti [Using the principle of extended application of test building constructions and materials in the european regulation of fire safety]. *Arkhitektura i stroitelstvo Rossii — Architecture and Construction of Russia*, 2013, no. 3, pp. 24–28.

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

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

А. В. ПЕШКОВ, заместитель начальника кафедры пожарной тактики и службы Уральского института ГПС МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22)

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

УДК 541.11

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

Описаны теоретические основы термодинамического моделирования. Рассмотрены возможности программного комплекса ТЕРРА для термодинамического моделирования поведения радиоактивного графита при нагревании (горении) в атмосфере воздуха. Показано, что использование методологии термодинамического моделирования и программного комплекса ТЕРРА позволяет моделировать и прогнозировать фазовые и химические превращения при нагреве (горении). Методом термодинамического моделирования изучено поведение радионуклидов при сгорании радиоактивного графита в атмосфере воздуха. Установлено, что радиоактивный цезий присутствует в виде конденсированного и парообразного CsCl, радиоактивный кальций – конденсированного и парообразного CaCl₂, радиоактивный стронций – конденсированного и парообразного SrCl₂, радиоактивный бериллий – BeO и парообразного BeCl₂, радиоактивный никель – конденсированного и парообразного NiCl₂, радиоактивный уран – конденсированных UO₂, UOCl₂, UOCl и парообразного UCl₄, плутоний – конденсированных PuCl₃, PuOCl, PuO, амриций – конденсированных Am₂O₃ и AmO₂, радиоактивный хлор – конденсированных и парообразных соединений урана и парообразного CaCl₂. Продуктом сжигания углерода при температуре выше 900 К является смесь CO и CO₂ в соотношении 1:1.

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

В ядерной энергетике России имеется ряд энергоблоков с реакторами, в которых в качестве активной зоны и отражателя используется графит [1]. Реакторный графит горит гетерогенно. Повышение температуры при этом ведет к возрастанию скорости окисления графита.

При температуре до 200–250 °С в графите под воздействием проникающей радиации искажается структура кристаллической решетки, вследствие чего накапливается скрытая энергия (энергия Вигнера). Если эта энергия регулярно не рассеивается путем отжига (повышения температуры), то она может накапливаться до определенной точки и затем

внезапно выделяется с резким повышением температуры, что может привести к пожару [2].

Кроме того, возможна запроектная авария типа аварии на четвертом блоке ЧАЭС, которая привела к полному разрушению активной зоны реактора. В результате часть графитовой кладки была выброшена, а часть осталась в шахте реактора. Высокая температура и наличие кислорода способствовали окислению графита, что привело практически к полному выгоранию его в реакторном пространстве [3].

Радиоактивный графит содержит различные радионуклиды (такие, как тритий и ¹⁴C), а также продукты коррозии/активации (⁵⁷Co, ⁶⁰Co, ⁵⁴Mn, ⁵⁹Ni,

⁶³Ni, ²²Na и т. д.), продукты деления (¹³⁷Cs, ¹³⁷C, ⁹⁰Sr, ¹⁵²Eu, ¹⁴⁴Ce и т. п.) и небольшое количество урана и элементов превращения (²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴¹Am, ²⁴³Am и др.) [4].

Радиоактивные элементы при горении либо остаются с негорючей частью графита, либо испаряются в зависимости от степени их летучести. Газообразные радиоактивные элементы конденсируются на более крупных частицах в потоке газов или собираются вокруг “зародыша” и образуют собственную субмикронную аэрозоль. Попавшие в атмосферу субмикронные частицы легко вдыхаются в легкие, откладываются на поверхности водоемов и продовольственных культурах [4].

В данной работе изучалось поведение радионуклидов при нагревании (горении) радиоактивного графита в атмосфере воздуха. Поведение радиоактивных элементов не отличается от поведения их нерадиоактивных изотопов [5].

Исследования проводили методом термодинамического моделирования [6–8], которое успешно использовалось для изучения неорганических веществ при высоких температурах в металлургии и материаловедении [9–11], а также в физике [12–15].

Термодинамическое моделирование заключается в термодинамическом анализе равновесного состояния систем в целом (полный термодинамический анализ). Под термодинамическими системами понимаются условно выделенные материальные области, взаимодействие которых с окружающей средой сводится к обмену теплом и работой. Равновесие систем в соответствии со вторым законом термодинамики характеризуется максимумом энтропии относительно термодинамических степеней свободы, к числу которых относятся концентрации компонентов равновесной смеси M_q (моль/кг), температура T и давление P :

$$S = \sum_{g=1}^G \left[S_g^0(T) - R \ln \frac{RT}{V} n_g \right] n_g + \sum_{c=1}^C S_c^0(T) n_c + \sum_{x=1}^X \sum_{r=1}^R [S_{rx}^0(T) - R \ln w_{rx}] n_{rx} \Rightarrow S_{\max}, \quad (1)$$

где $n_g, n_c, n_{rx}, S_g^0, S_c^0, S_{rx}^0$ — число молей и стандартная энтропия (при температуре T, K , и давлении $0,1 \text{ МПа}$) в газовой (g), конденсированной (c) фазах и в растворе (rx) (индекс x относится к раствору, а r — к компоненту раствора), Дж/(моль·К);

G, C, X — количество газообразных, конденсированных компонентов и растворов в термодинамической системе соответственно, моль;

w_{rx} — мольная доля компонента в растворе, мол. дол.;

R — универсальная газовая постоянная;

$R = 8,3144621 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$;

V — объем, м^3 .

Удельный объем v , как и внутренняя энергия U , остаются при этом неизменными переменными, так как условия равновесия системы относительно окружающей среды могут быть выражены с помощью равенств: $dv = 0$ и $dU = 0$ или $v = \text{const}$ и $U = \text{const}$.

На область допустимых значений переменных при установлении химического и фазового равновесия путем достижения максимума энтропии накладываются следующие дополнительные ограничения.

1. Постоянство полной внутренней энергии системы при равновесии:

$$U = \sum_{g=1}^G U_g(T) n_g - \sum_{c=1}^C U_c(T) n_c - \sum_{x=1}^X \sum_{r=1}^R U_{rx}(T) n_{rx} = \text{const}, \quad (2)$$

где U_g, U_c, U_{rx} — мольная внутренняя энергия компонентов газовой фазы, конденсированных компонентов и компонентов конденсированных растворов, включающая в себя энтальпию образования:

$$U = \int_{T_0}^T C_{V\varepsilon} dT + \Delta_f H^0(T_0); \quad (3)$$

$\varepsilon = g, c, rx$;

C_V — теплоемкость при постоянном объеме;

T_0 — термодинамическая температура при стандартных условиях;

$\Delta_f H^0(T_0)$ — энтальпия при T_0 .

2. Сохранение массы всех химических элементов:

$$-b_j + \sum_{g=1}^G v_{jg} n_g + \sum_{c=1}^C v_{jc} n_c + \sum_{x=1}^X \sum_{r=1}^R v_{jrx} n_{rx} = 0, \quad (4)$$

где b_j — мольное содержание j -го химического элемента в системе;

v_{jg}, v_{jc}, v_{jrx} — число атомов j -го элемента в газовой, конденсированном компонентах системы и растворе соответственно.

3. Закон сохранения заряда:

$$\sum_{k=1}^K q_{ek} n_k = 0, \quad (5)$$

где q_{ek} — кратность ионизации k -го компонента (для электронного газа $q_{ek} = -1$).

4. Уравнение состояния смеси идеальных газов:

$$pV - RT \sum_{k=1}^K n_k = 0, \quad (6)$$

где p — давление, Па.

Параметры равновесия термодинамической системы определяются решением математической задачи о нахождении экстремума с учетом всех ограничений с использованием функции Лагранжа. Для вычислений использован метод последовательных приближений Ньютона, который обеспечивает высокую скорость сходимости результатов на конечных стадиях итерационного процесса. Программный комплекс ТЕРРА предусматривает задание условий равновесия термодинамической системы с окружающей средой любой парой термодинамических параметров из числа следующих: P (давление), V (удельный объем), T (температура), S (энтропия), H (энтальпия), U (внутренняя энергия), а также проведение равновесного расчета термодинамической системы произвольного элементного состава, включение в число ожидаемых компонентов равновесного состава любых индивидуальных веществ за счет изменения только исходных данных, определение равновесного фазового состава системы без предварительного указания термодинамически допустимых состояний. Таким образом, для определения конкретных параметров состояния системы необходимо задать две ее характеристики (например: P и T , V и T , H и P и т. д.), массовое содержание химических элементов в рабочем теле, список потенциально возможных для равновесного состава индивидуальных веществ с их термодинамическими функциями — энтропией и энтальпией. В программном комплексе ТЕРРА предусмотрена также возможность учета некоторых неидеальностей: исключение из числа компонентов равновесного состава любых индивидуальных веществ; назначение (фиксирование) концентрации одного или нескольких веществ с последующим расчетом равновесного состояния по оставшейся части системы; рассмотрение неидеальных конденсированных растворов путем задания избыточной энергии Гиббса; учет собственного объема, занимаемого конденсированными веществами.

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

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

Состав конденсированной фазы представлен на рис. 1, из которого видно, что наиболее значимыми компонентами являются UO_2 , $UOCl$, $UOCl_2$, $CaCl_2$, BeO с концентрацией выше 10^{-2} мол. дол. В интервале температур 1300–1500 К преобладающим

Таблица 1. Долгоживущие радионуклиды в графите

Радионуклид	Тип соединения
^{10}Be	Оксиды, галогениды, нитраты
^{14}C	C, CO, CO ₂
^{36}Cl	Соединения с H, Li, Na, K, Rb, Cs
^{41}Ca	Все соединения
^{59}Ni	Ni, Ni _(r) , Ni _{2(r)} , NiCl _(r) , NiCl ₂ , NiCl _{2(r)} , NiCl _{3(r)} , NiCO ₃ , NiH _(r) , NiO, NiO _(r) , NiOH _(r) , Ni(OH) ₂ , Ni(OH) _{2(r)} , Ni(OH) ₃ , Ni(CO) ₄
^{60}Co	Co, Co _(r) , Co _{2(r)} , CoCl _(r) , CoCl ₂ , CoCl _{2(r)} , CoCO ₃ , CoO, CoO _(r) , Co ₃ O ₄ , Co(OH) ₂ , Co(OH) _{2(r)}
^{90}Sr	Sr, Sr _(r) , Sr _{2(r)} , SrCl _(r) , SrCl ₂ , SrCl _{2(r)} , SrCO ₃ , SrO, SrO _(r) , SrO ₂ , SrOH _(r) , Sr(OH) ₂ , Sr(OH) _{2(r)}
^{137}Cs , ^{134}Cs	Cs, Cs _(r) , CsCl, CsCl _(r) , Cs ₂ Cl _{2(r)} , CsClO ₃ , CsClO ₄ , Cs ₂ CO ₃ , Cs ₂ CO _{3(r)} , CsH _(r) , CsHCO ₃ , CsNO _{2(r)} , CsNO _{3(r)} , CsO _(r) , CsO ₂ , Cs ₂ O _(r) , Cs ₂ O, Cs ₂ O ₂ , Cs ₂ O _{2(r)} , Cs ₂ O ₃ , CsOH, CsOH _(r) , Cs(OH) _{2(r)} , Cs ₂ O ₂ H _{2(r)}
^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{152}Eu	Eu, Eu _(r) , EuCl ₂ , EuCl ₃ , EuCl _{3(r)} , EuO, EuO _(r) , Eu ₂ O _(r) , Eu ₂ O _{2(r)} , Eu ₂ O ₃ , Eu ₃ O ₄ , EuOCl, Eu(OH) ₃
^{238}U , ^{236}U , ^{235}U	UF ₆ , UO ₂ F ₂ , UO ₂ (NO ₃) ₂ , UO ₃ , UF ₄ , UO ₂ , U ₃ O ₈ , U, UCl _(r) , UCl _{2(r)} , UCl ₃ , UCl _{3(r)} , UCl ₄ , UCl _{4(r)} , UCl ₅ , UCl _{5(r)} , UCl _{6(r)} , UO, UO _(r) , UO ₂ , UO _{2(r)} , UO ₃ , UO _{3(r)} , U ₃ O ₇ , U ₃ O ₈ , U ₄ O ₉ , UOCl, UOCl ₂ , UO ₂ Cl, UO ₂ Cl _{2(r)} , UO ₂ Cl ₂ , UO ₂ CO ₃
^{241}Am , ^{243}Am	Am, Am _(r) , AmCl ₃ , AmO ₂ , Am ₂ O ₃ , AmOCl, Am(OH) ₃
^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu	Оксиды, гидроксиды, другие соединения

Таблица 2. Исходный состав системы для окисления радиоактивного графита в атмосфере воздуха

Фаза	Фазовый состав	Содержание, % масс.
Газовая (89,65 %)	O ₂	23,10
	N ₂	76,90
Конденсированная (10,35 %)	C	99,99
	U	11,6·10 ⁻³
	Cl	1,9·10 ⁻³
	Ca	3·10 ⁻⁴
	Pu	7·10 ⁻⁵
	Be	1·10 ⁻⁵
	Ni	8·10 ⁻⁶
	Cs	3·10 ⁻⁶
	Am	9·10 ⁻⁶
	Sr	1·10 ⁻⁶
Eu	1·10 ⁻⁶	

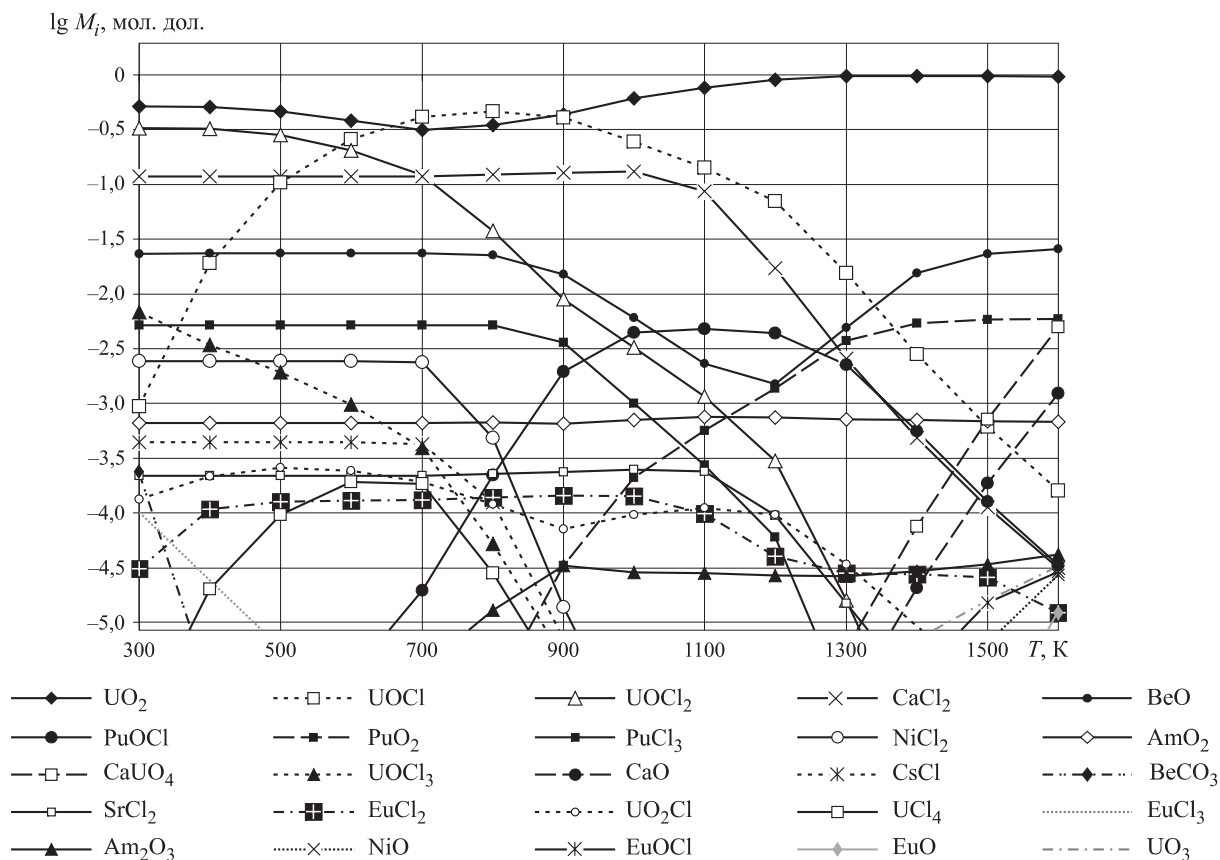


Рис. 1. Состав конденсированной фазы: M_i — концентрация i -го компонента в системе в мольных долях (1,00 мол. дол. = 100 мол. %)

компонентом становится UO_2 с концентрацией 0,98 мол. дол.

Состав газовой фазы приведен на рис. 2. При температуре выше 900 К основными компонентами газовой фазы являются N_2 ($p \sim 0,98$ атм), CO_2 и CO ($p \sim 10^{-1}$ атм).

Распределение углерода между конденсированной и газовой фазами показано на рис. 3. При температуре выше 900 К весь углерод находится в газовой фазе в виде CO и CO_2 в соотношении 1:1.

Распределение хлора по фазам представлено на рис. 4. При температуре от 300 до 600 К основная часть хлора (60–50 мол. %) находится в виде конденсированного $UOCl_2$. Повышение температуры до 700–900 К ведет к появлению конденсированного $UOCl$ (40–48 мол. %). При дальнейшем повышении температуры до 1000–1100 К появляется газовая фаза UCl_4 (~50 мол. %). При 1300–1600 К хлор присутствует в газовой фазе в виде парообразного $CaCl_2$ (~100 мол. %).

Распределение цезия по фазам показано на рис. 5. При температуре 300–700 К примерно 100 мол. % цезия находится в виде конденсированного $CsCl$, повышение температуры до 900–1400 К ведет к переходу хлорида цезия полностью в газовую фазу.

Распределение кальция и стронция по фазам представлено на рис. 6 и 7. При температуре 300–1000 К

примерно 100 мол. % кальция и стронция находится в виде конденсированных $CaCl_2$ и $SrCl_2$. При повышении температуры до 1300 К хлориды переходят в газовую фазу.

Распределение бериллия по фазам приведено на рис. 8. При температуре 300–900 К примерно 100–90 мол. % бериллия находится в виде конденсированного BeO . В интервале температур от 800 до 1200 К происходит снижение содержания конденсированного BeO с 90 до 5 мол. % и увеличение содержания газообразного $BeCl_2$ с 10 до 95 мол. %.

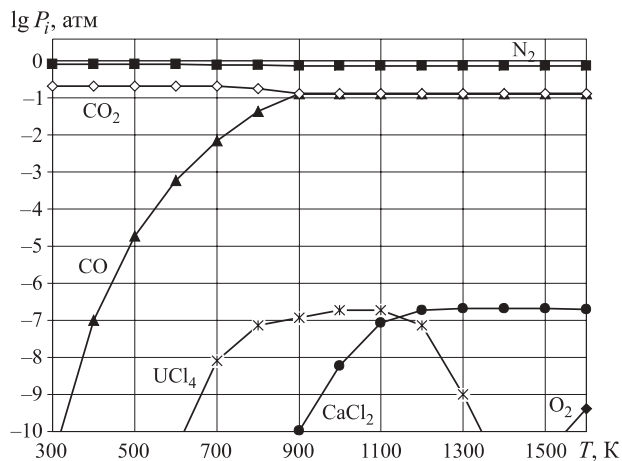


Рис. 2. Состав газовой фазы

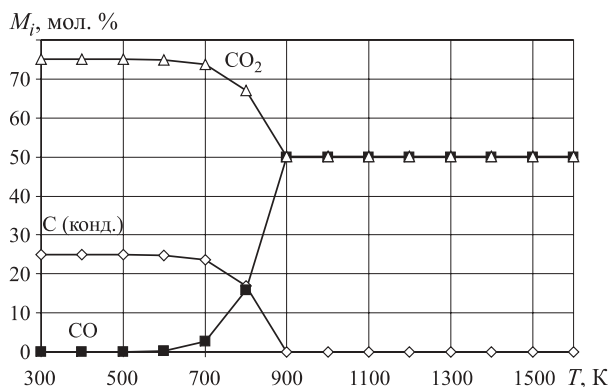


Рис. 3. Распределение общего углерода по фазам

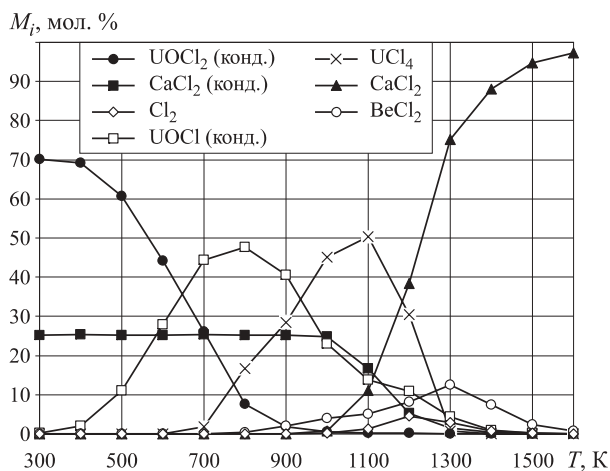


Рис. 4. Распределение хлора по фазам

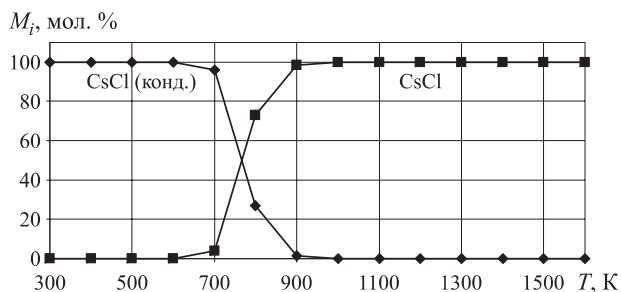


Рис. 5. Распределение цезия по фазам

Дальнейшее повышение температуры до 1600 К ведет к увеличению содержания конденсированного BeO до 95 мол. % и уменьшению содержания газообразного BeCl₂ до 5 мол. %.

Распределение никеля по фазам представлено на рис. 9. При температуре 300–700 К примерно 100–97 мол. % никеля находится в виде конденсированного NiCl₂. Повышение температуры до 900 К ведет к резкому уменьшению доли конденсированного NiCl₂ практически до нуля и увеличению содержания газообразного NiCl₂ до 100 мол. %. В интервале температур 900–1400 К практически весь никель находится в виде газообразного NiCl₂. При дальнейшем повышении температуры до 1600 К доля

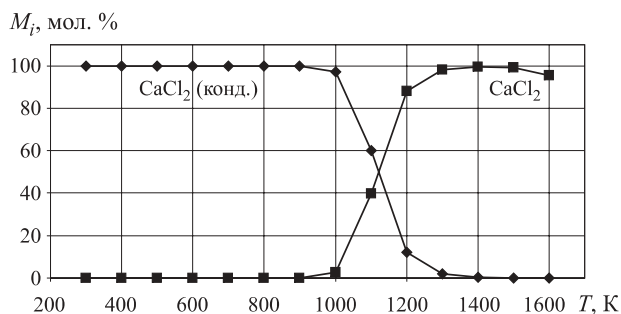


Рис. 6. Распределение кальция по фазам

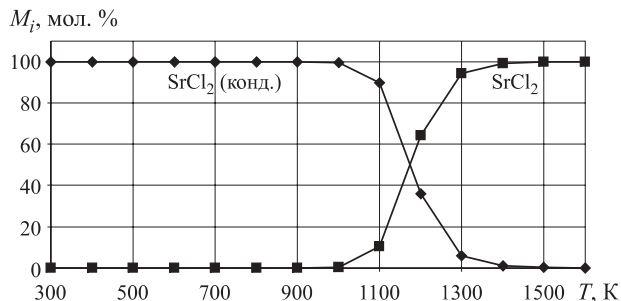


Рис. 7. Распределение стронция по фазам

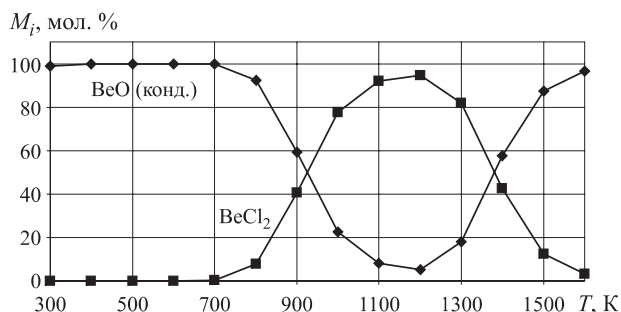


Рис. 8. Распределение бериллия по фазам

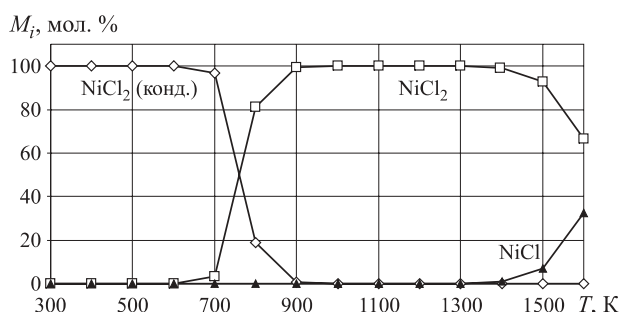


Рис. 9. Распределение никеля по фазам

газообразного NiCl₂ уменьшается до 68 мол. % и появляется газообразный NiCl, содержание которого достигает 32 мол. %.

Распределение урана по фазам представлено на рис. 10. В температурном интервале 300–700 К уран находится в виде твердых фаз UO₂, UOCl₂, UOCl. Повышение температуры до 1100 К вызывает появление газообразного UCl₄, доля которого достигает ~12 мол. %, и уменьшению до нуля конденсирован-

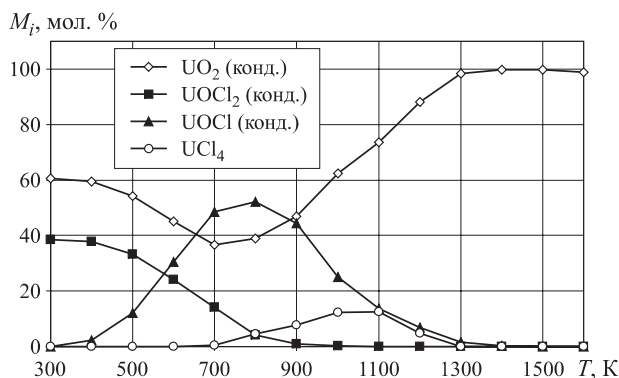


Рис. 10. Распределение урана по фазам

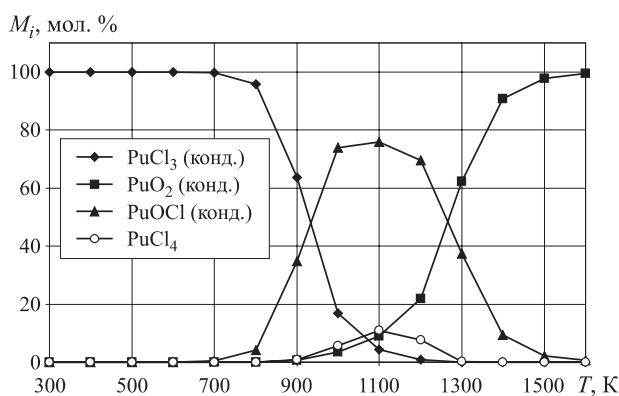


Рис. 11. Распределение плутония по фазам

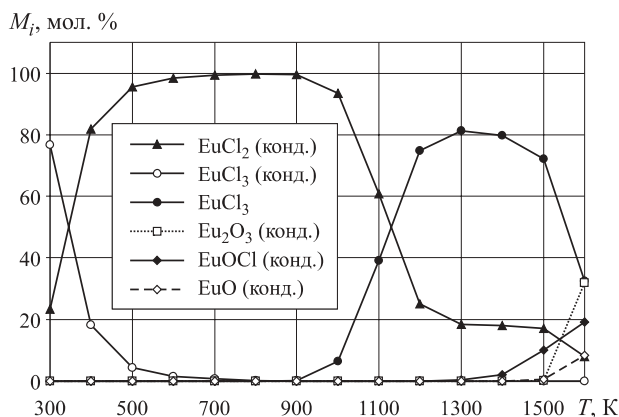


Рис. 12. Распределение европия по фазам

ного $UOCl_2$. Дальнейшее повышение температуры до 1300 К ведет к исчезновению газовой фазы UCl_2 , уменьшению практически до нуля конденсированного $UOCl$; уран находится в виде фазы конденсированного UO_2 . В температурном интервале от 1300 до 1600 К практически весь уран находится в виде конденсированного UO_2 .

Распределение плутония по фазам показано на рис. 11. При температуре до 300 К практически весь плутоний находится в виде конденсированного $PuCl_3$. В интервале 800–1300 К происходят основные физико-химические превращения, исчезает конден-

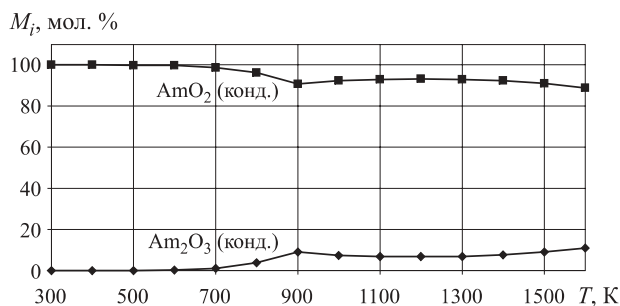


Рис. 13. Распределение америция по фазам

сированный $PuCl_3$, появляется газообразный $PuCl_4$ (~10 мол. %), а также конденсированные $PuOCl$ (~75 мол. %) и PuO_2 . При дальнейшем повышении температуры до 1600 К основной фазой становится конденсированный PuO_2 .

Распределение европия по фазам приведено на рис. 12. В температурном интервале от 330 до 600 К происходит увеличение содержания конденсированного $EuCl_2$ и уменьшение количества конденсированного $EuCl_3$. В интервале от 600 до 900 К практически весь европий находится в виде конденсированного $EuCl_2$. При температуре 900–1300 К происходит уменьшение доли конденсированного $EuCl_2$ и увеличение содержания газообразного $EuCl_3$ до 80 мол. %. Дальнейшее повышение температуры до 1600 К ведет к уменьшению количества газообразного $EuCl_3$ до 30 мол. % и конденсированного $EuCl_2$ до 10 мол. % и увеличению содержания конденсированного Eu_2O_3 до 30 мол. %, конденсированных $EuOCl$ — до 20 %, EuO — до 10 мол. %.

Распределение америция по фазам приведено на рис. 13. В интервале от 300 до 800 К практически весь америций присутствует в виде конденсированного AmO_2 . Дальнейшее повышение температуры до 1600 К ведет к появлению конденсированного Am_2O_3 (~10 мол. %), остальной америций находится в виде конденсированного AmO_2 (~90 мол. %).

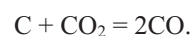
На основе термодинамического моделирования можно предложить следующую схему окисления углерода.

В интервале 300–600 К весь кислород в равновесной системе расходуется на окисление углерода по реакции



В результате в равновесной системе отсутствует кислород (см. рис. 2), количество С и CO_2 остается неизменным (см. рис. 3).

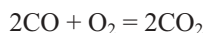
В интервале температур 600–900 К протекает реакция



В результате протекания этой реакции количество углерода уменьшается от 25 мол. % до нуля, возрастает содержание CO от 0 до 50 мол. % и

уменьшается количество CO_2 от 75 до 50 мол. % (см. рис. 3).

Так как в равновесной системе отсутствует кислород, то газофазная реакция



не протекает.

Таким образом, при 600 К в равновесной системе появляется СО, а при 900 К весь углерод окисляется. Наличие в равновесной системе СО указывает

на ее пожаро- и взрывоопасность в зависимости от концентрации O_2 .

Наряду с успешно применяемыми нами теоретическими и экспериментальными методами [16–26], термодинамическое моделирование позволяет оценить поведение веществ при нагреве в равновесной системе и на основании этой оценки дать заключение о пожаровзрывоопасности и об опасных факторах пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скачек М. А. Обращение с отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. — М. : Изд. дом МЭИ, 2007. — 448 с.
2. Микеев А. К. Противопожарная защита АЭС. — М. : Энергоиздат, 1990. — 432 с.
3. Криницин А. П., Пазухин Э. М. Исследование образцов графита из 4-го блока Чернобыльской АЭС // Радиохимия. — 1994. — Т. 36, № 6. — С. 522–528.
4. Yang H.-C., Eun H.-C., Lee D.-G. Behavior of radioactive elements during thermal treatment of nuclear graphite waste. Thermodynamic model analysis // Journal of Nuclear Science and Technology. — 2005. — Vol. 42, No. 10. — P. 869–876.
5. Барбин Н. М., Терентьев Д. И., Пешков А. В., Алексеев С. Г. Сравнительный термодинамический анализ процессов переработки радиоактивного графита сжиганием в атмосфере воздуха и окислением в солевом расплаве // Расплавы. — 2013. — № 4. — С. 25–35.
6. Ватолин Н. А., Моисеев Г. К., Трусов Б. Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных системах. — М. : Металлургия, 1994. — 352 с.
7. Моисеев Г. К., Вяткин Г. П., Барбин Н. М. Применение термодинамического моделирования для изучения взаимодействия с участием ионных расплавов. — Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2002. — 116 с.
8. Барбин Н. М., Алексеев С. Г., Алексеев К. С. Применение термодинамического моделирования для изучения полимеров при нагревании // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2013. — № 8. — С. 245–247.
9. Барбин Н. М., Казанцев Г. Ф., Ватолин Н. Л. Переработка вторичного свинцового сырья в ионных солевых расплавах. — Екатеринбург : УРО РАН, 2002. — 180 с.
10. Barbin N., Terentiev D., Alexeev S., Barbina T. Thermodynamic modeling of the Pb+Bi melt evaporation under various pressure and temperatures // Computational Materials Science. — 2013. — Vol. 66. — P. 28–33.
11. Терентьев Д. И., Барбин Н. М., Борисенко А. В., Алексеев С. Г. Термодинамическое исследование состава газовой фазы над расплавами системы Pb–Bi // Перспективные материалы. — 2011. — № 13. — С. 859–864.
12. Терентьев Д. И., Барбин Н. М., Борисенко А. В., Алексеев С. Г. Состав и теплофизические свойства системы (Pb–Bi)–пар при различных условиях // Прикладная физика. — 2012. — № 3. — С. 23–38.
13. Barbin N. M., Terentiev D. I., Alexeev S. G. Computer calculation for thermal behavior of $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3$ melt // Journal of Engineering Thermophysics. — 2011. — Vol. 20, No. 3. — P. 308–314.
14. Терентьев Д. И., Барбин Н. М., Борисенко А. В., Алексеев С. Г. Термодинамическое моделирование испарения расплавов Pb+Bi при различных давлениях // Химическая физика и мезоскопия. — 2011. — Т. 13, № 3. — С. 350–355.
15. Барбин Н. М. Термодинамическое моделирование термического поведения расплавов $\text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ и $\text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ // Химическая физика и мезоскопия. — 2008. — Т. 10, № 3. — С. 354–360.
16. 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.
17. 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.

18. 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.
19. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. V. Карбоновые кислоты // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 75. — С. 35–46.
20. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VI. Альдегиды // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 29–37.
21. 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.
22. 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.
23. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С., Пищальников А. В. О взрывопожароопасности водочной продукции // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 2. — С. 20–23.
24. Алексеев С. Г., Пищальников А. В., Левковец И. А., Барбин Н. М. О пожароопасности водных растворов этанола // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 31–33.
25. Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливно-воздушных смесей на примере керосина марки РТ. II. РД 03-409-01 // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 1. — С. 21–27.
26. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температуры вспышки. Часть 1. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 35–41.

Материал поступил в редакцию 24 января 2014 г.

English

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

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

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

PESHKOV A. V., Deputy Head of Fire Service and Tactics Department, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation)

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

ABSTRACT

Describes the theoretical basis of thermodynamic modeling. The possibilities of the program complex TERRA for the thermodynamic modeling of the behavior of radioactive graphite by heating (combustion) in the air has been studied. It is shown that the use of the methodology and thermodynamic modeling software package TERRA allows you to simulate and predict the phase and chemical transformations during heating (combustion). With the help of thermodynamic modeling method

the behavior of radionuclides in radioactive graphite combustion in air was studied. It has been established that radioactive cesium is present as the condensed and vapor CsCl , radioactive calcium is in the form of condensed and vapor CaCl_2 , radioactive strontium is fused and vaporized SrCl_2 , radioactive beryllium is in the form of BeO and vapor BeCl_2 , radioactive nickel is present in the form of condensed and vapor NiCl_2 , radioactive uranium is in the form of condensed UO_2 , UOCl_2 , UOCl and vapor UCl_4 , plutonium is a condensed PuCl_3 , PuOCl , PuO , americium is in the form of condensed Am_2O_3 and AmO_2 , radioactive chlorine is condensed and vaporous compounds of uranium and vapor CaCl_2 , product combustion of carbon at temperatures above 900 K is CO and CO_2 in a ratio of 1:1.

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

REFERENCES

1. Skachek M. A. *Obrashcheniye s otrabotannym yadernym toplivom i radioaktivnymi otkhodami AES* [Handling of spent nuclear fuel and radioactive waste of nuclear power station]. Moscow, Publishing House of Moscow Power Engineering Institute, 2007. 448 p.
2. Mikeev A. K. *Protivopozharnaya zashchita AES* [Fire protection of nuclear power station]. Moscow, Energoizdat, 1990. 432 p.
3. Krinitsyn A. P., Pazukhin E. M. Issledovaniye obraztsov grafita iz 4-go bloka Chernobylskoy AES [Investigation of graphite samples from the 4th block of Chernobyl NPS]. *Radiokhimiya — Radiochemistry*, 1994, vol. 36, no. 6, pp. 522–528.
4. Yang H.-C., Eun H.-C., Lee D.-G. Behavior of radioactive elements during thermal treatment of nuclear graphite waste. Thermodynamic model analysis. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 2005, vol. 42, no. 10, pp. 869–876.
5. Barbin N. M., Terentiev D. I., Peshkov A. V., Alexeev S. G. Sravnitelnyy termodinamicheskiy analiz protsessov pererabotki radioaktivnogo grafita szhiganiyem v atmosfere vozdukh i okisleniyem v solevom rasplave [Comparative thermodynamic analysis of radioactive graphite combustion in the air and in the molten salt oxidation process]. *Rasplavy — Melts*, 2013, no. 4, pp. 25–35.
6. Vatolin N. A., Moiseev G. K., Trusov B. G. *Termodinamicheskoye modelirovaniye v vysokotemperaturnykh sistemakh* [Thermodynamic modeling in high-temperature systems]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1994. 352 p.
7. Moiseev G. K., Vyatkin G. P., Barbin N. M. Primeneniye termodinamicheskogo modelirovaniya dlya izucheniya vzaimodeystviya s uchastiyem ionnykh rasplavov [Application of thermodynamic modeling for the study of interaction involving ionic melts]. Chelyabinsk, South Ural State University Publ., 2002. 116 p.
8. Barbin N. M., Alexeev S. G., Alexeev K. S. Primeneniye termodinamicheskogo modelirovaniya dlya izucheniya polimerov pri nagrevanii [Application of thermodynamic modeling for the study of polymers by heating]. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki — News of the Southern Federal University. Technical sciences*, 2013, no. 8, pp. 245–247.
9. Barbin N. M., Kazantsev G. F., Vatolin N. L. *Pererabotka vtorichnogo svintsovogo syr'ya v ionnykh solevykh rasplavakh* [Recycling of secondary lead materials in ionic salt melts]. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2002. 180 p.
10. Barbin N., Terentiev D., Alexeev S., Barbina T. Thermodynamic modeling of the Pb+Bi melt evaporation under various pressure and temperatures. *Computational Materials Science*, 2013, vol. 66, pp. 28–33.
11. Terentiev D. I., Barbin N. M., Borisenko A. V., Alexeev S. G. Termodinamicheskoye issledovaniye sostava gazovoy fazy nad rasplavami sistemy Pb–Bi [Thermodynamic investigation of the gas phase over the Pb–Bi melt system]. *Perspektivnyye materialy — Perspective Materials*, 2011, no. 13, pp. 859–864.
12. Terentiev D. I., Barbin N. M., Borisenko A. V., Alexeev S. G. Sostav i teplofizicheskiye svoystva sistemy (Pb–Bi) – par pri razlichnykh usloviyakh [Structure and thermal properties of the system (Pb–Bi) – steams under various conditions]. *Prikladnaya fizika — Applied Physics*, 2012, no. 3, pp. 23–38.
13. Barbin N. M., Terentiev D. I., Alexeev S. G. Computer calculation for thermal behavior of Na_2CO_3 – Li_2CO_3 melt. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2011, vol. 20, no. 3, pp. 308–314.
14. Terentiev D. I., Barbin N. M., Borisenko A. V., Alexeev S. G. Termodinamicheskoye modelirovaniye ispareniya rasplavov Pb + Bi pri razlichnykh davleniyakh [Thermodynamic modeling of the melt evaporation Pb + Bi at different pressures]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya — Chemical Physics and Mesoscopy*, 2011, vol. 13, no. 3, pp. 350–355.

15. Barbin N. M. Termodinamicheskoye modelirovaniye termicheskogo povedeniya rasplavov $\text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ i $\text{Ca}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ [Thermodynamic modeling of the thermal behavior of molten $\text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ and $\text{Ca}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya — Chemical Physics and Mesoscopy*, 2008, vol. 10, no. 3, pp. 354–360.
16. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. II. Ketony (chast 1) [The connection between the fire danger indices and the chemical structure. II. Ketony (Part 1)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15.
17. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. I. Alkanoly [The connection between the fire danger indices and the chemical structure. I. Alcohols]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 23–30.
18. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. IV. Prostyye efiry [The connection between the fire danger indices and the chemical structure. IV. Simple esters]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 9–16.
19. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. V. Karbonovyye kisloty [The connection between the fire danger indices and the chemical structure. V. Carbon acid]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 75, pp. 35–46.
20. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. VI. Aldegidy [The connection between the fire danger indices and the chemical structure. VI. Aldehydes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 29–37.
21. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. VII. Nitroalkany [The connection between the fire danger indices and the chemical structure. VII. Nitroalkanes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 22–24.
22. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroyeniyem. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1) [Communication fire danger from the chemical structure. VIII. Complicated esters (Part 1)]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 31–57.
23. Alexeev S. G., Barbin N. M., Avdeev A. S., Pishchalnikov A. V. O vzryvopozharoopasnosti vodochnoy produktsii [On the explosive and fire danger of alcohol production]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 2, pp. 20–23.
24. Alexeev S. G., Pishchalnikov A. V., Levkovets I. A., Barbin N. M. O pozharoopasnosti vodnykh rastvorov etanola [On the danger of fire aqueous solutions of ethanol]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 31–33.
25. Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashev S. A., Guryev E. S. Metody otsenki vzryvopozharoopasnosti toplivno-vozdushnykh smesey na primere kerosina marki RT. II. RD 03-409-01 [Methods of assessing of the explosive and fire danger of the fuel-air mixtures on the example of kerosene RT. II. RD 03-409-01]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 1, pp. 21–27.
26. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Temperatury vspyshki. Chast 1. Istoriya voprosa, definitsii, metody eksperimentalnogo opredeleniya [Flashpoint. Part 1. Background, definitions, methods of the experimental determination]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 35–41.

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

УДК 614.83;004.942

ВЛИЯНИЕ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ НА РАЗВИТИЕ ВЗРЫВА ГАЗА

Численным экспериментом показано, что место расположения источника воспламенения в газонаполненном помещении значительно влияет на развитие взрыва. Установлено, что в помещении, по своим размерам типичном для кухни, давление взрыва может отличаться в 6 раз (4,8 против 0,8 кПа изб.): чем дальше расположен источник воспламенения от окна, тем выше давление взрыва. Показано также, что продолжительность взрыва уменьшается по мере удаления источника от окна, в нашем эксперименте — втрое.

Ключевые слова: газ в помещении; взрыв газа; место воспламенения; длительность взрыва; фронт пламени.

Введение

Взрывы газа в помещениях, особенно бытовых, продолжают оставаться серьезной проблемой [1, 2]. Подчеркивая особую ценность результатов известных фундаментальных исследований на эту тему, укажем и на целесообразность проведения исследований, имеющих во многом прикладной характер, таких, например, как экспериментальные газовые взрывы в реальных помещениях или на их моделях. При этом эксперименты могут быть физическими или виртуальными, проведенными с помощью математических и компьютерных моделей. Оба варианта исследований энергично развиваются в Московском государственном строительном университете (МГСУ) [3–5]. Известны результаты проведенных там исследований, и прежде всего такие, как характеристики взрыва газа с “участием” смежного помещения или влияние различных вариантов остекления исходного помещения на давление взрыва.

В МГСУ разработана также математическая модель развития взрыва газа, с помощью которой сформулированы представления о механике процесса. Однако представляется, что возможности этой модели к настоящему времени исчерпаны, так как дифференциальные уравнения в обыкновенных производных, составляющие основу модели, описывают ситуацию, при которой параметры газовой среды в помещении равнозначны в любой точке пространства. Это обстоятельство исключает возможность определения характера распределения параметров

по объему помещения, в частности оно не позволяет количественно судить о размерах фронта пламени и динамике его распространения. Кстати, последнее обстоятельство является одним из ключевых моментов при создании моделей газового взрыва, поэтому авторам модели приходится переходить на качественный анализ результатов физических экспериментов.

Цель исследования — оценка влияния отдельных факторов, таких, например, как место расположения источника воспламенения, на характер развития взрыва газозвушной смеси в помещениях, которые по своим размерам близки к реальным.

Объект исследования

Эксперимент проводился в объеме, типичном для кухонного помещения размером 4×3 м и высотой 2,2 м, при наличии в нем окна площадью 1×1,2 м. На кухне для “оживления” помещения были размещены предметы обихода, как то шкаф, холодильник, стол и газовая плита, представленные на рис. 1 в виде параллелепипедов. Здесь же обозначены пять точек, расположенные по оси помещения на высоте 1 м, в которых в каждом отдельном опыте “устанавливался” источник воспламенения. Измерение давления во всех опытах производилось в центральной части помещения, а температуры — по центру плоскости окна.

Физические и теплофизические характеристики газов и их зависимости от давления и температуры взяты из известных справочников. Скорость

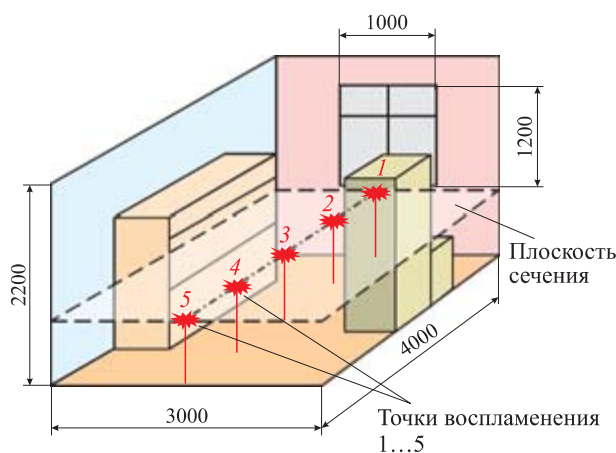


Рис. 1. Схема расчетного помещения

нормального горения и ее зависимость от давления и температуры приняты в том виде, в каком они были определены В. С. Бабкиным [6] и В. В. Мольковым [7].

Экспериментальные средства

Для исследований был применен численный эксперимент с использованием математической модели процесса и ее компьютерной реализации, обеспечившей визуализацию результатов расчета. В основу математической модели положены три момента: исходная система уравнений с начальными и граничными условиями; модель распространения пламени и метод решения системы.

Исходная система уравнений

В качестве исходной системы уравнений использовалась известная в газовой динамике система, состоящая из трех дифференциальных уравнений в частных производных, выражающих фундаментальные законы сохранения (уравнения неразрывности, импульса и энергии) применительно к идеальной сжимаемой невязкой среде в так называемой форме Эйлера (уравнение сохранения импульса, в свою очередь, представлено в виде трех скалярных уравнений):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \bar{U}) &= 0; \\ \frac{\partial \rho U_x}{\partial t} + \operatorname{div}(U_x \rho \bar{U}) + \frac{\partial p}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial \rho U_y}{\partial t} + \operatorname{div}(U_y \rho \bar{U}) + \frac{\partial p}{\partial y} &= 0; \\ \frac{\partial \rho U_z}{\partial t} + \operatorname{div}(U_z \rho \bar{U}) + \frac{\partial p}{\partial z} &= 0; \\ \frac{\partial \rho E}{\partial t} + \operatorname{div}(E \rho \bar{U}) + \operatorname{div}(p \bar{U}) &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где ρ — плотность газа, кг/м³;
 \bar{U} — вектор скорости, м/с;

U_x, U_y, U_z — компоненты вектора скорости соответственно вдоль осей x, y и z , м/с;
 E — удельная полная энергия, Дж/кг;
 p — давление, Па.

Замыкается система уравнением газового состояния в форме

$$p = \rho I (\gamma - 1), \quad (2)$$

где I — удельная внутренняя энергия, Дж/кг;

$$I = E - U^2/2;$$

$$U^2 = U_x^2 + U_y^2 + U_z^2;$$

γ — показатель адиабаты среды.

Начальные и граничные условия

Принято, что все помещение заполнено стехиометрическим составом метановоздушной смеси, исходное давление и температура которой имеют нормальные значения. Границы помещения непроницаемы, выброс газов при взрыве происходит через окно. Окно представляет собой невесомую перегородку, которая разрушается в начальный момент взрыва.

Модель распространения пламени

Для моделирования распространения пламени введена новая переменная — массовая доля продуктов сгорания в ячейке, что равносильно применению четвертого типа ячеек, в которых движется фронт пламени. Этот прием позволил не только следить в процессе горения за фронтом пламени, но и более точно производить расчет тепловыделения в общем алгоритме. Движение фронта пламени внутри ячейки происходит со скоростью, равной нормальной скорости горения, значение которой зависит от температуры и давления в исходной смеси. Отдельно рассматривается вопрос перехода фронта пламени через границу ячейки. Более подробно движение этой линии описано в программном продукте “Вулкан-М” [8]. Использование дополнительного типа ячейки сказывается на устойчивости решения, ухудшая его. В связи с этим, как показал опыт [9], возникает необходимость проводить расчеты с меньшим шагом по времени, т. е. брать больший запас согласно критерию устойчивости Куранта–Фридрихса–Леви.

Учет потерь на границах объема

Исследования, проведенные нами ранее, показали достаточно заметное влияние теплопотерь на границах объема на параметры взрыва. Согласно работе [9] в расчетах принимались поправки, учитывающие эти теплопотери.

Решение системы уравнений

Система решается с помощью ПК численным методом, разработанным О. М. Белоцерковским и

Ю. М. Давыдовым [10] и названным ими методом крупных частиц. Идея расчета заключается в следующей постановке. Расчетный объем (помещение кухни) разбивается на расчетные ячейки (в нашем случае это 13200 кубиков размером $10 \times 10 \times 10$ см), непроницаемые границы строятся другим типом ячеек — пограничными, а истечение газа происходит через третий тип ячеек, названных расходными.

В расчетных ячейках выполняются законы сохранения, аппроксимированные разностными уравнениями. В пограничных ячейках выполняется условие непротекания за счет введения в них фиктивной скорости, направленной нормально к границе и равной по модулю скорости в расчетной ячейке, также нормально направленной к границе. Принято, что в ячейках, через которые происходит истечение, на внешней границе давление равно среднему из значений давлений в ближайшей расчетной ячейке и в атмосфере [10]. Величина шага по времени выбирается с учетом размера ячеек и в соответствии с упомянутым критерием устойчивости (в нашем случае $\Delta t = 5 \cdot 10^{-7}$ с). Как известно, решение ищется в три этапа, именуемые эйлеровым, лагранжевым и окончательным. Несмотря на то что система линейных уравнений решается в явном виде, решение устойчиво.

Визуализация расчетов

База данных, полученная в процессе расчетов, позволила визуализировать процесс взрыва, проследить за состоянием параметров на каждом шаге счета в каждой ячейке. Чтобы облегчить наблюдение за развитием взрыва, ячейки окрашены в разные цвета: пограничные — в зеленый, расходные — в светло-зеленый, расчетные ячейки, образующие объем помещения, — в серый. Синим цветом окрашены ячейки, не участвующие в расчетах. Ячейки, в которых происходит горение, имеют красный цвет; по ним можно следить за развитием фронта пламени.

Поскольку векторы скоростей известны в каждой ячейке, то представилось возможным наблюдать за векторными линиями (траекториями), по которым движется газовая среда. По данным расчетов построены графики динамики изменения отдельных параметров.

Результаты эксперимента

На рис. 2 приведены кадры визуализации развития взрыва, на которых видны фронт пламени и траектории, по которым движется поток газов. Векторные линии создают иллюзию реального эксперимента, а картина обладает (как выражаются программисты-мультипликаторы) правдоподобием.

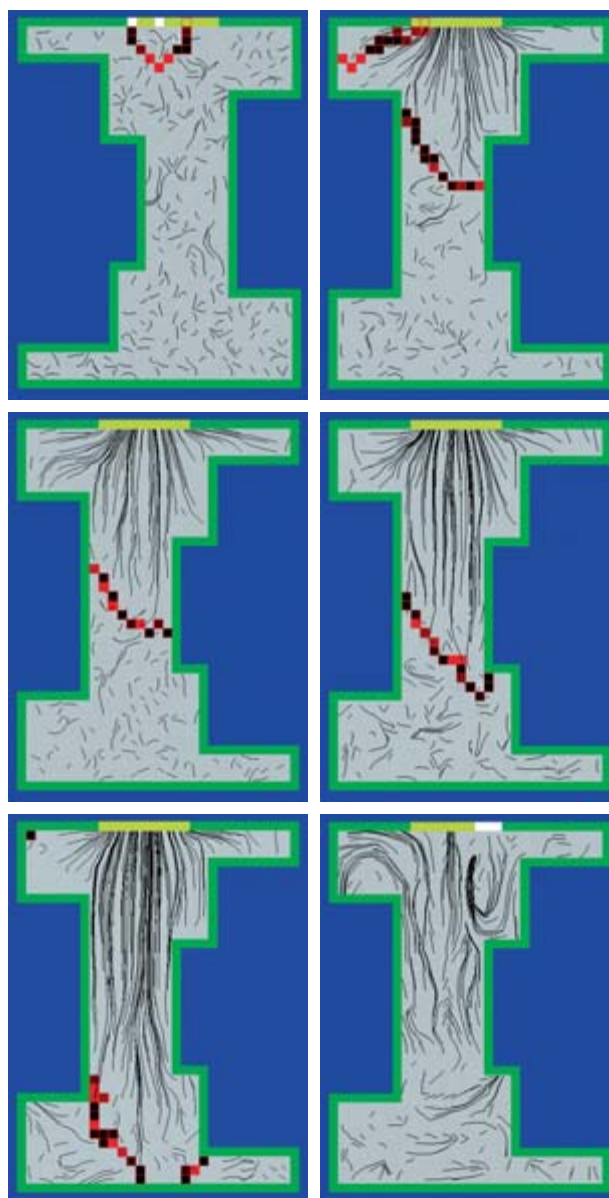


Рис. 2. Отдельные кадры визуализированной картины развития взрыва газа при его воспламенении у окна

Кадры взяты из пространственной картины развития взрыва при расположении источника воспламенения у окна согласно сечению, показанному на рис. 1 (точка 1). Из-за несимметричности расположения окна и мебели относительно продольной оси помещения картина движения фронта горения по правую и левую стороны от оси помещения весьма различается. Мебель, находящаяся на кухне, способствует образованию вихрей.

На рис. 3 приведены кадры развития взрыва газа при воспламенении газа у противоположной от окна стены. На рисунке видна существенная разница в потоках: если при воспламенении у окна (точка 1) продукты сгорания находятся, считая от фронта горения, со стороны окна, то при зажигании у дальней стены (точка 5) — со стороны этой стены.

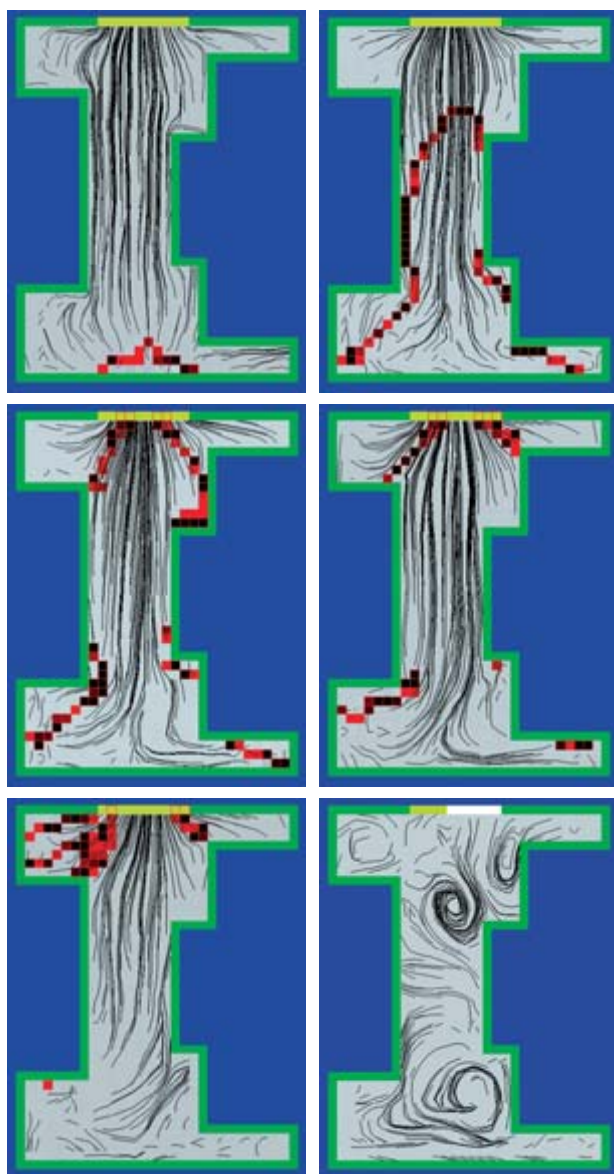


Рис. 3. Отдельные кадры визуализированной картины развития взрыва газа при его воспламенении у дальней от окна стены

Во втором случае со стороны окна находится исходная несгоревшая газовая смесь, но до того момента, пока туда не подошел фронт горения.

О времени, когда фронт горения достигает окна, можно судить и по графику изменения температуры в ячейке, расположенной по центру плоскости окна (рис. 4): по резкому подъему температуры можно оценить время подхода фронта пламени к окну в каждом варианте воспламенения (см. рис. 4, б).

Из рис. 4, б видно, что время подхода продуктов сгорания к окну, естественно, зависит от места воспламенения: чем дальше оно расположено от окна, тем позже фронт пламени подойдет к нему. По температуре у окна можно судить и о продолжительности процесса взрыва: время взрыва при воспламенении у дальней стены вчетверо меньше времени взрыва при воспламенении у окна.

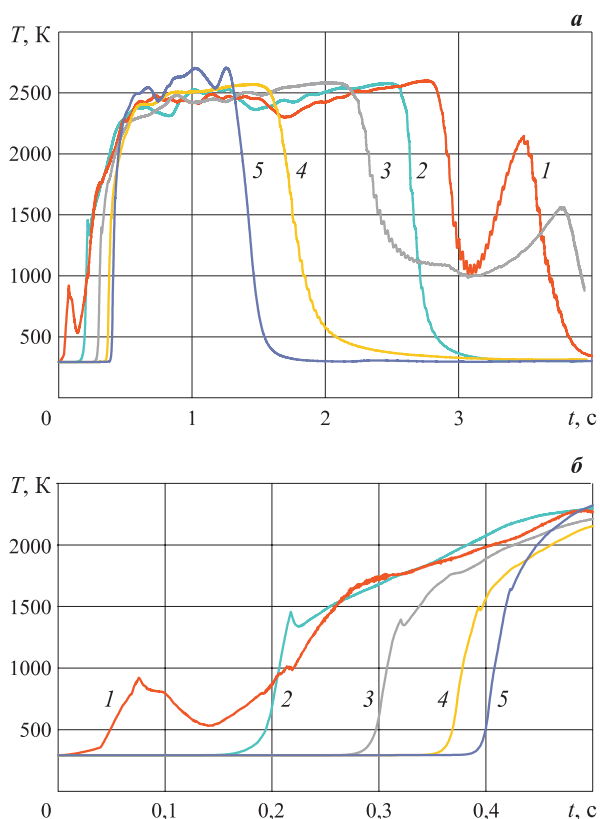


Рис. 4. Изменение температуры газа в ячейке по центру плоскости окна (а) и фрагмент, по которому можно оценить время подхода фронта пламени к окну (б) (обозначения см. на рис. 1)

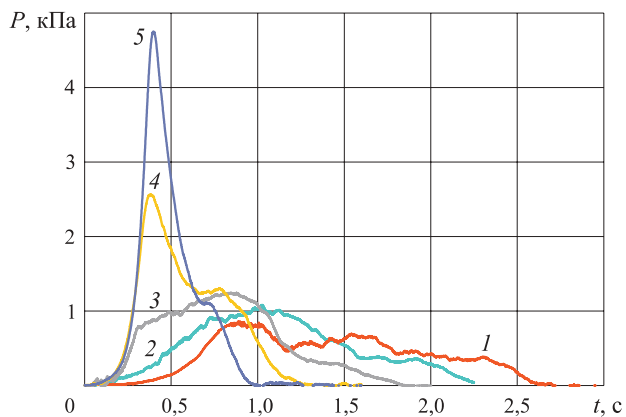


Рис. 5. Изменение давления взрыва при различном расстоянии от окна до очага воспламенения (обозначения см. на рис. 1)

Возможно, самым важным результатом проведенного эксперимента является полученная в нем зависимость давления взрыва от места воспламенения газа (рис. 5).

Из эксперимента следует, что чем ближе к окну источник воспламенения, тем меньше давление взрыва (рис. 6). Причем разница в экспериментах достигает 6-кратного значения: при воспламенении у дальней от окна стены — 4,8 кПа изб., у окна — 0,8 кПа изб. Заметим, что снижение температуры газа у окна не следует напрямую из факта окончания горения.

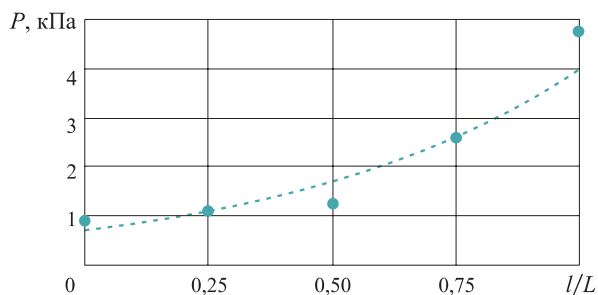


Рис. 6. Зависимость максимального давления взрыва от удаленности (l/L) места зажигания от окна

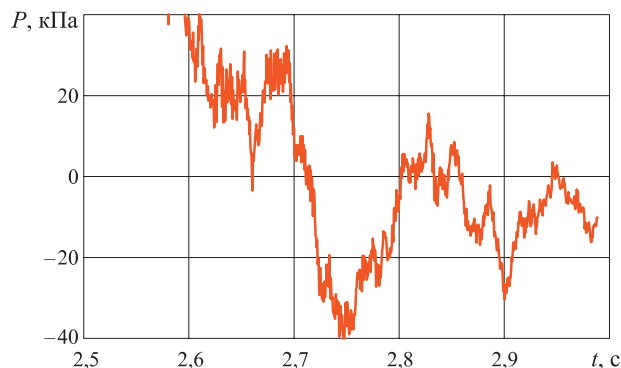


Рис. 7. Изменение давления при воспламенении у дальней стены (фрагмент рис. 5) при $t > 2,5$ с

Представляется, что снижение температуры обусловлено тем, что с прекращением горения заканчивается динамический процесс выброса газов из помещения и начинается процесс имплозии, который виден на графике давления (рис. 7).

Давление имплозии по сравнению с давлением взрыва невелико, всего 40 Па изб., но его достаточно для того, чтобы в помещение устремился холодный воздух из атмосферы со скоростью около 8 м/с. На рис. 7 отчетливо прослеживаются угасающие колебания с частотой около 5 Гц, очень похожие на те, которые наблюдаются в резонаторе Гельмгольца. Их называют первыми по частоте. Процесс взрыва сопровождается звуковыми колебаниями частотой около 90 Гц, и ими же он и заканчивается с постепенно уменьшающейся амплитудой от 4 до 1 Па изб. (т. е. звук меняется от громкого до постепенно затихающего).

Интересным представляется вопрос о факторах, обеспечивающих такую разницу в давлении взрыва: то ли это различие размеров площади фронта пламени в разных опытах, то ли температура продуктов сгорания, подошедших к окну и обеспечивших высокую скорость истечения? Изменение площади фронта пламени показано на рис. 8, из которого видно (в сравнении с рис. 5), что с ростом площади горения увеличивается и давление взрыва, но максимальное отношение площадей составляет не более 1,4, в то время как отношение давлений — 6. Из-

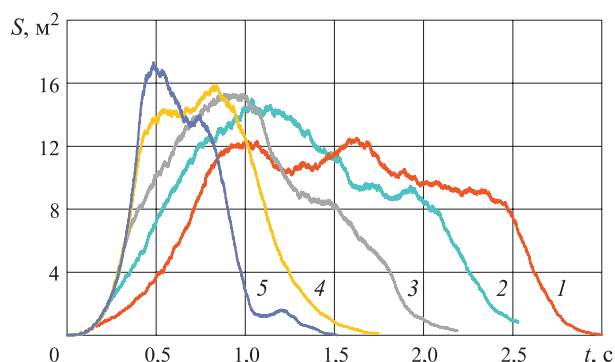


Рис. 8. Изменение площади фронта пламени при различных вариантах воспламенения газа

вестно также, что эти два параметра процесса пропорциональны друг другу, из чего следует, что рост давления не может быть объяснен только увеличением площади фронта пламени.

Основная причина роста давления при удалении места воспламенения от окна кроется в том, что при воспламенении у дальней стены вся выделившаяся энергия при горении расходуется на повышение потенциала находящегося в помещении газа, в том числе на повышение давления. При воспламенении же у окна часть энергии выносится с истекающими газами из помещения, поэтому потенциал газовой среды внутри помещения меньше, а вместе с тем и давление ниже, чем в первом случае.

Понятно, что в результате взрыва во всех вариантах помещение займут продукты сгорания с плотностью, которая меньше в 5 раз по сравнению с исходной смесью. Получается, что большая часть смеси в результате ее расширения при горении будет выброшена через окно. Выбрасывается она по-разному: при воспламенении у дальней стены значительная часть исходной смеси выбрасывается несгоревшей, а при воспламенении у окна происходит истечение продуктов сгорания в течение всего времени взрыва. Несгоревшая часть исходной смеси, надо полагать, догорает уже снаружи, вне помещения.

Выводы

Давление взрыва газа в помещении в значительной мере зависит от места воспламенения: чем ближе к окну находится точка воспламенения, тем меньше давление взрыва; при этом отношение давлений при изменении положения источника воспламенения может быть 6-кратным. Длительность взрыва, напротив, при приближении источника к окну увеличивается, в приведенном расчете — втрое: от 1 с при воспламенении газа у дальней стены до 3 с — при воспламенении у окна.

Исследования проведены в рамках Госзадания по НИР № 7-466-2011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожарные подвели итоги 2004 г. Более 18 тысяч россиян погибли в прошедшем году в огне // Пожаровзрывобезопасность. — 2005. — Т. 14, № 1. — С. 62–67.
2. Комаров А. А. Анализ последствий аварийного взрыва природного газа в жилом доме // Пожаровзрывобезопасность. — 1999. — Т. 8, № 4. — С. 49–53.
3. Ворогушин О. О., Корольченко А. Я., Ляпин А. В. Расчет температурного режима пожара при определении пределов огнестойкости строительных конструкций в зданиях, расположенных над транспортными магистралями // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Спецвыпуск. — С. 43–47.
4. Комаров А. А. Разрушение зданий при аварийных взрывах бытового газа // Пожаровзрывобезопасность. — 2004. — Т. 13, № 5. — С. 15–23.
5. Мишуев А. В., Казеннов В. В., Комаров А. А., Громов Н. В., Лукьянов А. В., Прозоровский Д. В. Особенности аварийных взрывов внутри жилых газифицированных зданий и промышленных объектов // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Спецвыпуск. — С. 56–63.
6. Бабкин В. С., Бабушок В. И., Михайлова Л. Г. Влияние термодинамических и кинетических параметров на динамику сгорания газа в сферическом сосуде // Физика горения и взрыва. — 1979. — Т. 15, № 6. — С. 14–20.
7. Мольков В. В. Динамика сгорания газа в негерметичном сосуде : дис. ... канд. физ-мат. наук / МФТИ. — Москва, 1983.
8. 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.; зарег. 03.12.2007 г.
9. 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.
10. Белоцерковский О. М., Давыдов Ю. М. Метод крупных частиц в газовой динамике. — М. : Наука, 1982. — 392 с.

Материал поступил в редакцию 1 ноября 2013 г.

English

EFFECT OF LOCATION SOURCE OF FIRE IN THE ROOM ON THE DEVELOPMENT OF GAS EXPLOSION

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

BABANKOV V. A., Postgraduate Student of Higher Mathematics Department of FSEI HPE “State University – Education-Science-Production Complex” (Naugorskoe Shosse, 29, Orel, 302020, Russian Federation; e-mail address: xenosv@mail.ru)

ABSTRACT

The notable study of features of gas explosions in a room show that the development of this process is influenced by such factors as a variant of the glazing room, the adjacent room, the shape of the flame front, and others. When using a mathematical model based on partial differential equations, and solving systems of equations by large particles is shown that the known results can be supplemented by studies obtained on the numerical experiment. It was found that the place of ignition greatly affects at the pressure of gas explosion in the room. It turns out that the approximation of ignition to the window reduces the pressure of the explosion, the multiplicity of relations of pressure peaks in the ignition of the far wall and the window reaches 6 (4.8 vs 0.8 kPa). An explosion in the room, on the contrary, when approaching ignition source to the window extends in experiment 1 to 3 seconds. Implosion effect noted to lack of pressure in a room of about 40 Pa, which is at the end of

an explosion outside cold air and a sharp drop in temperature in the room, from the window. These results develop forward the well-known concept of a gas explosion in the room.

Keywords: gas in a room; explosion of gas; fire place; duration of the explosion; flame front.

REFERENCES

1. Pozharnyye podveli itogi 2004 g. Bolee 18 tysyach rossiyan pogibli v proshedshem godu v ogne [Firemen summed up the totals of 2004. More than 18000 died in fire in Russia in 2004]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2005, vol. 14, no. 1, pp. 62–67.
2. Komarov A. A. Analiz posledstviy avariynogo vzryva prirodno gaza v zhilom dome [Analysis of consequences of emergency explosion of natural gas in a residential building]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 1999, vol. 8, no. 4, pp. 49–53.
3. Vorogushin O. O., Korol'chenko A. Ya., Lyapin A. V. Raschet temperaturnogo rezhima pozhara pri opredelenii predelov ognestoykosti stroitelnykh konstruksiy v zdaniyakh, raspolozhennykh nad transportnymi magistralyami [Calculation of a temperature mode of fire at determination of fire resistance limits of construction designs in buildings, located over transport highways]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, Spetsvypusk, pp. 43–47.
4. Komarov A. A. Razrusheniye zdaniy pri avariynykh vzryvakh bytovogo gaza [Destroy of living buildings at common gas explosions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2004, no. 5, pp. 15–23.
5. Mishuev A. V., Kazennov V. V., Komarov A. A., Gromov N. V., Lukyanov I. A., Prozorovskiy D. V. Osobennosti avariynykh vzryvov vnuti zhilykh gazifitsirovannykh zdaniy i promyshlennykh obyektov [Peculiar properties of emergency blasts inside gasified buildings and industrial objects]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, Spetsvypusk, pp. 56–63.
6. Babkin V. S., Babushok V. I., Mikhaylova L. G. Vliyaniye termodinamicheskikh i kineticheskikh parametrov na dinamiku sgoraniya gaza v sfericheskom sosude [Influence of thermodynamic and kinetic parameters on the dynamics of the combustion gas in a spherical vessel]. *Fizika goreniya i vzryva — Combustion, Explosion and Shock Waves*, 1979, vol. 15, no. 6, pp. 14–20.
7. Molkov V. V. Dinamika sgoraniya gaza v negermetichnom sosude. Dis. kand. fiz.-mat. nauk [Dynamics of gas combustion in an unpressurized vessel. Cand. phys.-math. sci. diss.]. Moscow, Moscow Institute of Physics and Technology, 1983.
8. Polandov Yu. Kh., Barg M. A., Markov S. S. *Modelirovaniye protsessov goreniya 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.
9. Polandov Yu. Kh., Barg M. A., Vlasenko S. A. Modelirovaniye protsessa goreniya gazovozdushnoy smesi metodom krupnykh chastits [Modeling of combustion of gas-air mixture by large particles method] *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 3, pp. 6–9.
10. Belotserkovskiy O. M., Davydov Yu. M. *Metod krupnykh chastits v gazovoy dinamike* [Method of large particles in gas dynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 392 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
www.shtpena.ru

Д. А. КОРОЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: 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 614.841.412

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВРЕМЯ ВЫБРОСА НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ГОРЕНИИ В РЕЗЕРВУАРЕ

Показано, что физическая природа выброса нефтепродуктов при пожарах в резервуарах связана с перегревом и испарением накопившейся на дне резервуара или на поверхности понтона подтоварной воды. Показано также, что время, в течение которого гомотермический слой нефти, прогретый в результате горения в резервуаре до температуры кипения, достигает уровня подтоварной воды или воды, введенной в резервуар в процессе тушения пожара, зависит от тепловых потерь в окружающую среду через боковую поверхность резервуара. Установлено, что время выброса зависит от площади поверхности резервуара, охлаждаемой водой. Показано, что при интенсивном охлаждении водой скорость формирования гомотермического слоя резко снижается с ростом его толщины. Выведены соотношения для определения времени выброса нефтепродукта, которые показывают, что на время выброса нефтепродукта при пожаре в резервуаре влияют скорость прогрева жидкости, ее линейная скорость выгорания, начальный уровень горючего в резервуаре и толщина гомотермического слоя. Приведены формулы, описывающие динамику изменения толщины гомотермического слоя, которые могут быть использованы для прогнозирования времени выброса нефтепродукта при длительном нагреве.

Ключевые слова: пожар; резервуар; время выброса нефтепродуктов; гомотермический слой нефти; уровень подтоварной воды.

Физическая природа выброса нефтепродуктов при пожарах в резервуарах связана с перегревом и испарением накопившейся на дне резервуара или на поверхности понтона подтоварной воды.

Время, в течение которого гомотермический слой (ГТС) нефти, прогретый в результате горения в резервуаре до температуры кипения, достигает уровня подтоварной воды или воды, введенной в резервуар в процессе тушения пожара, зависит от тепловых потерь в окружающую среду через боковую поверхность резервуара [1, 2].

Начальная линейная скорость прогревания нефтепродукта в процессе горения, а также массовая скорость его выгорания могут быть определены из справочной литературы и по экспериментальным данным, а размер резервуара, уровень горючего и подтоварной воды — из технической документации (РД, ГОСТов).

Для установления времени выброса необходимо определить с площадью поверхности резервуара, охлаждаемой водой.

На рисунке представлена схема резервуара с нефтью, в котором формируется гомотермический слой.

Тепловой поток от факела пламени расходуется в основном на испарение нефти и формирование потока горячих паров в зону горения. Рассеивание

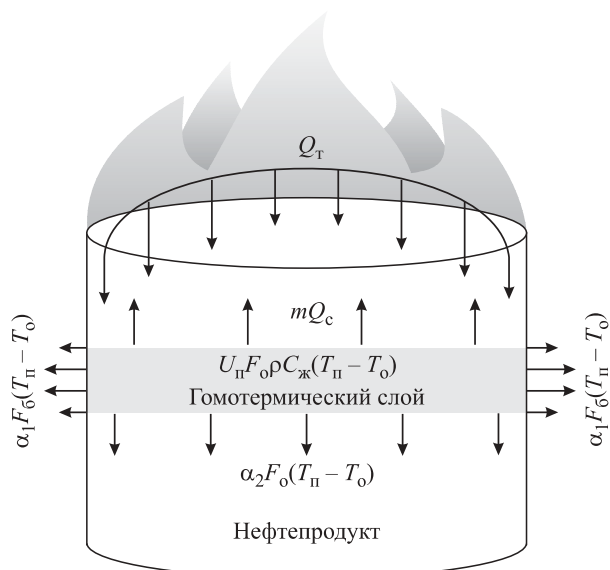


Схема основных потоков тепла при образовании гомотермического слоя в резервуаре с горящим нефтепродуктом: → — основные направления тепловых потоков

тепла боковой поверхностью металлического резервуара пропорционально изменению толщины гомотермического слоя h . Тепло, расходуемое на испарение нефти, определяется произведением массовой скорости выгорания и теплоты сгорания:

$$Q_{\tau} = mQ_c + U_{\Pi} F_o \rho C_{ж} (T_{\Pi} - T_o) + \alpha_1 F_6 (T_{\Pi} - T_o) + \alpha_2 F_o (T_{\Pi} - T_o), \quad (1)$$

где Q_{τ} — поток тепла от факела пламени к поверхности жидкости в резервуаре, Дж/с;
 m — массовая скорость выгорания горючей жидкости (ГЖ), кг/с;

Q_c — теплота сгорания, Дж/кг;

U_{Π} — скорость прогрева жидкости, м/с;

F_o — площадь поверхности ГЖ в резервуаре, м²;

ρ — плотность ГЖ, кг/м³;

$C_{ж}$ — теплоемкость ГЖ, Дж/(кг·К);

T_{Π} — температура поверхности ГЖ при горении, К;

T_o — начальная температура ГЖ, равная температуре окружающей среды, К;

α_1, α_2 — коэффициент теплопередачи соответственно через стенку резервуара и от гомотермического слоя в глубь ГЖ, Дж/(м²·с·К);

F_6 — площадь боковой поверхности ГТС, м².

Массовую скорость выгорания m выражаем через удельную u_m (кг/(м²·с)), а площадь боковой поверхности ГТС — через его толщину h (м):

$$m = u_m F_o; \quad (2)$$

$$F_6 = 2\pi R h, \quad (3)$$

где R — радиус резервуара, м.

Переменную величину U_{Π} выразим в явном виде:

$$U_{\Pi} = dh/d\tau. \quad (4)$$

В уравнении (1) перенесем постоянные во времени члены в его левую часть, обозначив

$$\Delta T = T_{\Pi} - T_o. \quad (5)$$

Подставив выражения (2)–(5) в уравнение (1), получим:

$$Q_{\tau} - u_m F_o Q_c - \alpha_2 F_o (T_{\Pi} - T_o) = F_o \rho C_{ж} \Delta T \frac{dh}{d\tau} + 2\pi R \alpha_1 h \Delta T. \quad (6)$$

Обозначив левую часть через q , получим исходное дифференциальное уравнение, описывающее изменение толщины слоя во времени:

$$F_o \rho C_{ж} \Delta T \frac{dh}{d\tau} = q - 2\pi R \alpha_1 h \Delta T; \quad (7)$$

$$a \frac{dh}{d\tau} = q - bh, \quad (8)$$

где $a = F_o \rho C_{ж} \Delta T$;
 $b = 2\pi R \alpha_1 \Delta T$.

Решением уравнения (8) при начальных условиях $\tau = 0, h = 0$ является соотношение

$$\tau = \frac{a}{b} \ln \frac{q}{q - bh}. \quad (9)$$

Введем обозначение:

$$\tau_o = a/b = \rho c R / (2\alpha). \quad (10)$$

Выведем величину h из уравнения (9):

$$h = \frac{q}{b} \left(1 - e^{-\tau(b/a)} \right). \quad (11)$$

При $\tau \rightarrow \infty$ значение h становится максимальным:

$$h = h_m = a/b, \quad (12)$$

где h_m — максимально возможная толщина гомотермического слоя, м.

Найдем производную $dh/d\tau$:

$$-\left(\frac{dh}{d\tau} \right) \equiv U_{\Pi} \equiv \frac{q}{a} e^{-\tau(b/a)}. \quad (13)$$

При $\tau \rightarrow 0$

$$U_{\Pi} = U_o \equiv q/a, \quad (14)$$

где U_o — начальная скорость прогрева жидкости, м/с.

Из соотношения (14) получим формулу для расчета q :

$$q = a U_o. \quad (15)$$

Дробь под логарифмом в формуле (9) разделим на b , предварительно заменив q на $a U_o$ из (15), и получим:

$$\tau = \tau_o \ln \frac{\tau_o U_o}{\tau_o U_o - h} = \tau_o \ln \frac{h_m}{h_m - h}, \quad (16)$$

где $h_m = \tau_o U_o \equiv U_o \frac{a}{b} \equiv \frac{q}{b}$; (17)

τ_o — время начала прогрева жидкости, ч.

Аналогично упростим формулу (11):

$$h = h_m \left(1 - e^{-\tau(b/a)} \right). \quad (18)$$

Формулы (16) и (18) описывают динамику изменения толщины гомотермического слоя и могут быть использованы для прогнозирования времени выброса нефтепродукта при длительном пожаре. Применимость соотношения (16) ограничивается условием $h_m \gg h_{\tau}$, т. е. максимально возможная толщина гомотермического слоя должна быть существенно больше толщины слоя горючего в резервуаре.

Численные значения коэффициента теплоотдачи α_1 на границе *стенка резервуара – воздух* можно определить из критериального соотношения для свободной турбулизованной конвекции воздуха около нагретой стенки [3]:

$$Nu = 0,1(Gr \cdot Pr)^{1/3}, \quad (19)$$

где Nu — число Нуссельта;

Gr — критерий Грасгофа;

Pr — критерий Прандтля.

Для нашего случая $Pr = 0,75$ [3], откуда

$$1 = 0,09\lambda (\beta/\nu)^{1/3}, \quad (20)$$

где λ — коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/(м·К);

β — коэффициент температурного расширения, K^{-1} ;

ν — кинематический коэффициент вязкости, m^2/c .

При охлаждении поверхности резервуара водой коэффициент теплоотдачи α_1 может быть найден по соотношению

$$Nu_2 = 0,25Ar^{1/3}, \quad (21)$$

где Ar — число Архимеда.

Это соотношение учитывает режим пленочного испарения воды при контакте с нагретой поверхностью резервуара:

$$\alpha_1 = 0,25 \frac{\lambda_n}{\nu_n} g^{1/3}, \quad (22)$$

где λ_n — коэффициент теплопроводности пленки, Вт/(м·К);

ν_n — кинематический коэффициент вязкости пленки, m^2/c ;

g — ускорение свободного падения, m/c^2 .

Если охлаждение ведется с небольшим расходом воды, то среднее значение α может быть уменьшено пропорционально площади орошаемой поверхности. Например, если орошается только половина боковой поверхности, то среднее значение α составит:

$$\alpha = \frac{10 + 730}{2} = 370 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{с)}.$$

При интенсивном охлаждении водой скорость формирования гомотермического слоя резко снижается с ростом его толщины. Максимальная толщина гомотермического слоя определяется соотношением количества уходящего тепла через стенки резервуара, которое увеличивается по мере прогревания жидкости, к величине теплового потока от факела пламени к поверхности горения.

Если максимальная толщина гомотермического слоя меньше расстояния от поверхности до водного слоя, расположенного на дне резервуара, то время, через которое гомотермический слой достигнет воды, будет определяться не только скоростью прогревания, но и скоростью выгорания.

Выведем расчетное соотношение для случая, когда максимальная толщина гомотермического слоя меньше, чем толщина слоя горючей жидкости, т. е. $h_m < h_r$ (расчет h_m ведется по формуле (17)).

В общем случае нижняя граница гомотермического слоя будет определяться как прогреванием ГЖ, так и понижением уровня жидкости в результа-

те ее выгорания. Если за точку отсчета взять положение уровня жидкости до горения, то координату нижней границы гомотермического слоя z (м) можно определить по соотношению

$$z = U_1\tau + U_n\tau, \quad (23)$$

где U_1 — линейная скорость выгорания, м/с.

Выразим U_n в явном виде:

$$z = U_1\tau + \frac{q}{b} \left(1 - e^{-\tau(a/b)} \right). \quad (24)$$

Если $z \gg h_m$, то величиной $e^{-\tau(a/b)}$ можно пренебречь. Тогда получаем выражение

$$z = U_1\tau + \frac{q}{b} = h. \quad (25)$$

Учитывая, что $q = aU_0$, а также зная значения a и b , получим уравнение для определения времени от начала прогрева жидкости до выброса ГЖ, если $h_m \ll h_r$:

$$\tau = \frac{h_r}{U_1} - \frac{U_0 \rho R}{U_1 2\alpha} = \frac{h_r - \tau_0 U_0}{U_1}. \quad (26)$$

Для определения времени до выброса нефтепродукта используются два соотношения:

- при $h_m \gg h_r$ или $\tau_0 U_0 \gg h_r$

$$\tau = \tau_0 \ln \frac{\tau_0 U_0}{\tau_0 U_0 - h_r}, \quad (27)$$

где

$$\tau_0 = \rho C_{ж} R / (2\alpha); \quad (28)$$

- при $h_m \ll h_r$

$$\tau = (h_r - h_m) / U_1. \quad (29)$$

Из полученных соотношений можно сделать вывод, что на время выброса нефтепродукта при пожаре в резервуаре влияют скорость прогрева жидкости, ее линейная скорость выгорания, начальный уровень горючего в резервуаре и толщина гомотермического слоя.

Для определения толщины гомотермического слоя к заданному моменту времени можно использовать два варианта формул:

- при $h_m \gg h_r$

$$h = \tau_0 U_0 (1 - e^{-\tau/\tau_0}); \quad (30)$$

- при $h_m \ll h_r$

$$z = U_1\tau + U_0\tau_0. \quad (31)$$

Соответственно, расстояние до водного слоя δ в основании резервуара к заданному моменту времени (при $h_m \ll h_r$) определяется по формуле

$$\delta = h - z = h - (U_1\tau + U_0\tau_0). \quad (32)$$

Определим время до момента выброса нефтепродукта (бензина) при пожаре частично охлаждаемого водой резервуара, подставив в формулу (27)

следующие параметры [4]: $R = 26$ м, $\rho = 700$ кг/м³, $C_{ж} = 2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), начальный уровень горючего в резервуаре $h_r = 9,5$ м, толщина слоя воды под горючей жидкостью $0,5$ м, скорость выгорания бензина $U_1 = 0,4$ м/ч, скорость прогрева в начальный момент времени $U_0 = 1,8 \cdot 10^{-4}$ м/с, коэффициент теплоотдачи в условиях свободного горения $\alpha_1 = 10$ Вт/(м·К), $\alpha_2 = 730$ Вт/(м·К).

Для выбора расчетного соотношения найдем h_m :

$$\tau_{02} = 700 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 13 / (2 \cdot 730) = 12,5 \cdot 10^3 \text{ с};$$

$$h_{m2} = 12,5 \cdot 10^3 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} = 2,2 \text{ м.}$$

Следовательно, $h_m \ll h_r$, поэтому для расчета воспользуемся формулой (29):

$$\tau_2 = \frac{h_r - h_m}{U_1} = \frac{9,5 - 0,5}{0,4} = \frac{9,0}{0,4} = 22,5 \text{ ч.}$$

Таким образом, в рассматриваемых условиях пожара выброс нефтепродукта произойдет через 22,5 ч, поэтому пожар необходимо локализовать и ликвидировать в первые сутки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М.: АН СССР, 1961. — 208 с.
2. Блинов В. И., Худяков Г. Н., Петров И. И., Реутт В. Ч. О движении жидкости в резервуаре при перемешивании ее струей воздуха // Механизм тушения пламени нефтепродуктов в резервуарах. — М.: Изд. Минкоммунхоза РСФСР, 1958. — С. 7–22.
3. Мак-Адамс В. Х. Теплопередача / Пер. с англ. — Л.–М., 1936. — 440 с.
4. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник. В 2 ч. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.

Материал поступил в редакцию 25 декабря 2013 г.

English

PARAMETER DETERMINATION OF THE TIME OF OIL EMISSION IN A BURNING TANK

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 demonstrates that the physical nature of oil emission during the fire in oil tanks depends on bottom water overheating in the tank or on the surface of internal floating roof. Here it is also explained that the oil homothermal layer warmed-up to the boiling point reaches the level of bottom water or the water added into the tank to extinguish the fire, and the time of this leveling depends on thermal losses through the tank side surface out to the environment. According to the findings of the study the emission time depends on the cooled area of the tank surface. If water-cooling is intensive, the formation rate of the homothermal layer drastically decreases in the wake of its increasing thickness. The ratios concluded to determine the time of oil emission in the burning tank showing that it is influenced by warming-up rate of liquid, its peripheral combustion rate, initial fuel level in the tank and the thickness of the homothermal layer. As a result, there were derived two formulas to describe the thickness dynamics of the homothermal layer which may be used to predict the time of oil emission at prolonged heating.

Keywords: fire; tank; time of oil emission; homothermal layer of oil; level of bottom water.

REFERENCES

1. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye gorenije zhidkostey* [Diffusion burning of liquids]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
2. Blinov V. I., Khudyakov G. N., Petrov I. I., Reutt V. Ch. O dvizhenii zhidkosti v rezervuare pri peremeshevanii yeye struyey vozdukhа [On the fluid motion in the tank while stirring her by jet air]. *Mekhanizm tusheniya plameni nefteproduktov v rezervuarakh* [The mechanism of flame extinguishing of oil products in the tanks]. Moscow, Ministry of Housing and Communal Services of RSFSR Publ., 1958, pp. 7–22.
3. McAdams W. H. *Heat transmission*. New York, McGraw-Hill, 1933. (Russ. ed.: Mak-Adams W. Kh. Teploperedacha. Leningrad–Moscow, 1936. 440 p.).
4. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik v 2 ch.* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of extinguishing: handbook in two parts]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part I, 713 p.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

ОГNETУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



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

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

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

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

28–30 мая

Красноярск 2014



X специализированный форум-выставка

АНТИТЕРРОР

современные
системы
безопасности

- **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



Организаторы:



Информационная поддержка:



МВДЦ «СИБИРЬ»
ул. Авиаторов, 19
тел.: (391) 22-88-400
22-88-611 – круглосуточно
ccb@krasfair.ru, www.krasfair.ru

УДК 614.841.42

О НЕКОТОРЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ СТАТЬИ “СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ЛИКВИДАЦИЕЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ”

© А. А. ТАРАНЦЕВ,

д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ,
профессор кафедры организации пожаротушения и проведения АСР
Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы
МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: t__54@mail.ru)

В № 11 журнала “Пожаровзрывобезопасность” за 2013 г. опубликована статья В. Ф. Колпакова “Синтез адаптивного управления ликвидацией лесных пожаров” [1]. При всей актуальности рассматриваемых вопросов и интересном используемом математическом аппарате необходимо отметить следующее.

Уважаемому автору желательно бы знать (см. первый абзац статьи [1]), что тушением лесных пожаров занимаются прежде всего лесопожарные службы Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоза) [2]. С этой целью используются десантные подразделения с соответствующей экипировкой (рис. 1), специальная техника на гусеничном шасси (рис. 2) и другие средства, пригодные для тушения лесных пожаров, а также авиационная техника (рис. 3). Разумеется, к тушению крупных пожаров привлекаются силы и средства и других министерств и ведомств — прежде всего государственной, муниципальной, частной и добровольной пожарной охраны, Минобороны, РЖД, а также волонтеры и гражданское население.

С учетом многолетнего отечественного и зарубежного опыта борьбы с лесными пожарами была сформирована стройная и целостная система пре-

дупреждения лесных пожаров, их тушения, защиты объектов (населенных пунктов, инфраструктуры, ЛЭП, продуктопроводов, предприятий и др.), ликвидации последствий лесных пожаров, взаимодействия различных министерств и ведомств. Отработаны законодательные основы [3], создана нормативная база. В частности, введена классификация пожаров (по виду — верховой, низовой, подземный; по скорости — беглый, устойчивый; по силе — слабый, средний, сильный; по масштабу или площади — крупный, средний, локальный); установлено пять классов пожарной опасности (I — отсутствует, II — малая, III — средняя, IV — высокая, V — чрезвычай-



Рис. 2. Лесопожарный трактор ЛТ-4ЛП



Рис. 1. Тушение ранцевым прибором по периметру пожара



Рис. 3. Многоцелевой самолет Бе-200

ная), и в соответствии с ними разработана система действий по предупреждению и ликвидации лесных пожаров, защите населения, территорий и объектов, а также тактика тушения лесных пожаров [4, 5]. Желательно это учитывать, рассматривая проблему управления ликвидацией лесных пожаров.

Из раздела “Метод обратных задач динамики” [1] не вполне ясно, что автор понимает под вектором координат $y(t)$ применительно к проблеме управления ликвидацией лесных пожаров. Не совсем ясно, как он рассчитывает площадь возгорания $S(t)$ и что понимает под интенсивностью распространения пожара α . Непонятно также, почему автор в качестве “управления” $u(t)$ в выражении (24) (ранее, на с. 15, параметр $u(t)$ был определен как “вектор управления”) выбрал только длину заградительной полосы? Кроме того, желательно пояснить физический смысл “коэффициента усиления при управлении” k и определить, что такое “известный параметр” b_0 и параметр μ , произведением которых этот коэффициент является. Желательно было бы дать хоть какие-то обоснования введения безразмерного коэффициента “заданной динамики приближения” λ в выражении (4) в предположении, что $\lambda = 0,4$ [1, с. 20].

Уважаемому автору желательно было бы знать, что при всем разнообразии лесных пожаров за многие годы наблюдений сформировался типовой вид площади лесного пожара с выраженными фронтом, флангами и тылом (рис. 4), имеющими свои средние скорости распространения — V_{ϕ} , $V_{\text{фл}}$ и $V_{\text{т}}$, описываемые эмпирическими выражениями [4]. Конечно, на форму площади лесного пожара влияние могут оказывать и неоднородность растительного покрова, и рельеф местности (пожар в гору распространяется быстрее, чем с горы), и погодные условия (ветер, температура воздуха, осадки), и наличие преград (естественных — рек, озер; искусственных — просек, рвов), и собственно действия по его тушению.

Следует также отметить (к сведению автора [1]), что лесной пожар, как правило, тушится не по площади, а по периметру (за исключением тех случаев, когда огонь окружает населенные пункты или другие важные объекты). Тушение по площади возможно разве что сбросом воды с летательных аппаратов (см. рис. 3). Тактика тушения лесного пожара [4, 5] предусматривает как уже упомянутое выше тушение по периметру (в том числе захлестывание кромки огня и забрасывание ее грунтом), так и оперативное создание минерализованных (очищенных от пожарной нагрузки) полос специальной техникой (рис. 5) и даже взрывами, встречный отжиг от опорной полосы (например, реки) и т. д.

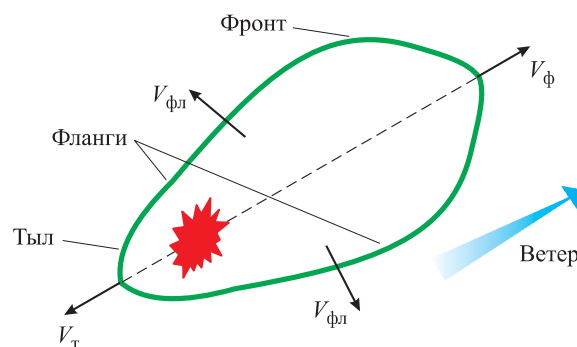


Рис. 4. Характерный вид площади лесного пожара



Рис. 5. Создание минерализованных полос гусеничной техникой

К сожалению, такой важный параметр лесного пожара, как его *периметр*, не нашел своего отражения в статье [1], а по этому параметру определяется и расход огнетушащих веществ, и количество задействованных на тушении пожара сил и средств [5].

На практике управление тушением лесного пожара осуществляет оперативный штаб (рис. 6), которому подчиняются руководители тушения пожара (РТП) на участках лесничества и который взаимодействует с комиссиями по ЧС и пожарной безопасности (КЧС и ПБ) различных уровней в зависимости от масштабов пожара. Здесь не представляется возможным перечислить особенности процесса управления на всех этапах тушения (разведка, остановка распространения огня, локализация, дотушивание, окарауливание, ликвидация). Да это и не требуется, поскольку они изложены в специальной литературе [2, 4–7].

Нужно лишь добавить, что важнейшими условиями успешного управления является выбор решающего направления боевых действий (с учетом населенных пунктов, транспортных коммуникаций, ЛЭП и др.), координация усилий пожарных и других подразделений различных министерств, ведомств (Рослесхоза, ГПС, Минобороны, РЖД, авиационных подразделений) и гражданского населения, а также постоянный мониторинг обстановки [8] с использованием наземных средств, авиации

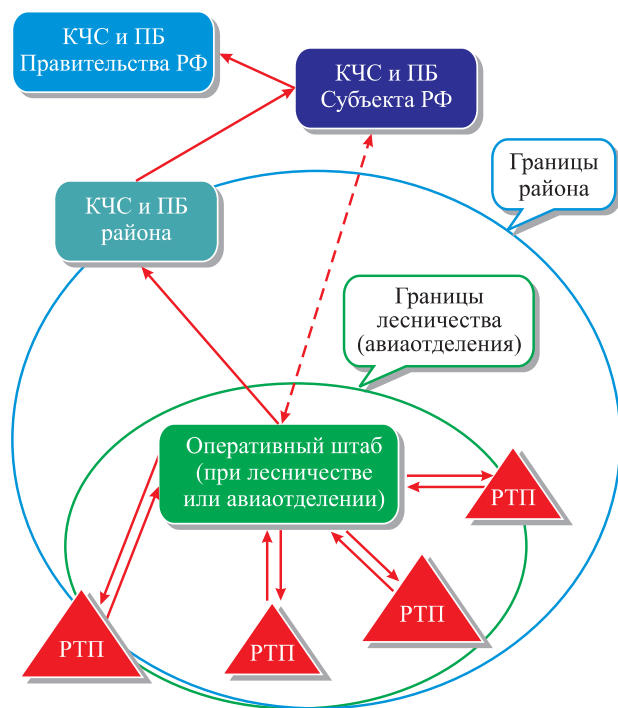


Рис. 6. Схема управления при организации тушения лесных пожаров

(в том числе БПЛА) и космических аппаратов. Однако при всей важности математического моделирования процессов управления тушением лесных пожаров решающим остается человеческий фактор, позволяющий оперативно учитывать постоянно меняющуюся обстановку, не всегда полную и своевременно поступающую информацию о ней, тактические возможности наличествующих сил и средств, водоснабжение и многое другое.

Таким образом, представленный автором подход и реализующие его алгоритмы (30) и (37) желательно доработать с учетом вышесказанных замечаний, касающихся тушения лесного пожара по периметру и управления не только созданием заградительных полос, но и всем комплексом мероприятий. В этом случае станет возможным применение данного подхода при отработке планов тушения лесных пожаров и проведении комплексных учений. Хотелось бы также порекомендовать уважаемому автору более полно ознакомиться с действующими нормативными документами и разработками в части тушения лесных пожаров (они не упомянуты ни в тексте, ни в списке литературы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колтаков В. Ф. Синтез адаптивного управления ликвидацией лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 23, № 11. — С. 17–23.
2. Рекомендации по обнаружению и тушению лесных пожаров : утв. Рослесхозом 17.12.97 г. (в ред. 2011 г.). URL : www.lawrussia.ru/bigtexts/law_2817/index.htm (дата обращения: 10.12.2013 г.).
3. Лесной кодекс Российской Федерации : Федер. закон РФ от 04.12.2006 г. № 200-ФЗ (в ред. от 30.07.2012 г.); принят Гос. Думой 08.11.2006 г.; одобр. Сов. Федерации 24.11.2006 г.; введ. 01.01.2007 г. // Собр. законодательства РФ. — 2006. — № 50, ст. 5278.
4. Повзик Я. С. Пожарная тактика : учебное пособие. — М. : ЗАО “Спецтехника”, 2004. — 416 с.
5. Иванников В. П., Ключ П. П. Справочник руководителя тушения пожара. — М. : Стройиздат, 1987. — 288 с.
6. Порядок тушения пожаров подразделениями пожарной охраны : приказ МЧС от 31.03.2011 г. № 156; зарег. В Минюсте РФ 09.06.2011 г., рег. № 20970; введ. 29.07.2011 г. // Бюлл. нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 18.07.2011 г. — № 29.
7. Мелехов И. С. Лесные пожары и борьба с ними. — Изд. 3-е, доп. — Архангельск : Северное краевое изд-во, 1935. — 81 с.
8. ГОСТ Р 22.1.09–99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования : постановление Госстандарта России от 25.05.1999 г. № 181. — Введ. 01.01.2000 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1999.

Материал поступил в редакцию 27 декабря 2013 г.



СибБезопасность

Международная выставка «Охрана и пожарная безопасность»

24 – 26 сентября 2014 года

Россия, Новосибирск

Место проведения: «Новосибирск Экспоцентр»

Получите электронный билет на сайте

www.sips-siberia.ru

Генеральный
информационный
партнер



Информационный
спонсор раздела CCTV



Генеральный
Интернет-партнер



Стратегический
информационный
партнер



РЕКЛАМА



Организатор
ITE Сибирь

E-mail: sips@sibfair.ru

Телефон: (383) 363-00-63, 363-00-36



ВОПРОС:

Современное взрывозащищенное электрооборудование (Ех-оборудование) изготавливается по ГОСТам серии Р МЭК 60079 и 61241 и предназначено для работы во взрывоопасных зонах, которые классифицируются по ст. 19 Федерального закона № 123-ФЗ (ред. 10.07.2012 г.) и ГОСТ Р 51330-9-99 “Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон”. При этом на объектах, введенных в эксплуатацию до вступления № 123-ФЗ в силу, продолжает действовать классификация зон по Правилам устройства электроустановок (ПУЭ). Старое электрооборудование приходится менять на новое в связи с невозможностью его ремонта. Как правильно выбрать Ех-оборудование нового производства для объектов с классификацией взрывоопасных зон по ПУЭ?

ОТВЕТ:

Для того чтобы ответить на этот вопрос, необходимо разобраться, каким образом осуществляется сопоставление классов взрывоопасных зон по ПУЭ [1] и международным стандартам.

В первую очередь следует отметить, что принципы классификации взрывоопасных зон в “старых” и “новых” нормативных документах сильно отличаются. Разделение зон на классы согласно ПУЭ осуществляется путем определения условий, при которых может образоваться взрывоопасная газовая смесь. Под условиями подразумевается нормальная работа технологического оборудования, его аварийная работа или состояние неисправности. Существует также разделение зон на классы по месту их возникновения (внутри помещения или вне его, т. е. снаружи). Отсюда классы В-I, В-Ia, В-Iб и В-II, В-IIa относятся к зонам, расположенным в помещениях, В-Iг — вне помещения.

В отличие от классификации зон по ПУЭ в стандартах Международной электротехнической комиссии (IEC), а именно в ГОСТ IEC 60079-10-1-2011 [2] и ГОСТ IEC 60079-10-2-2011 [3], разделение взрывоопасных зон на классы осуществляется по временному критерию и не зависит от места их образования. В связи с этим одна и та же зона может быть как внутри помещения, так и за его пределами. Зоны классов 0, 1 и 2 относят к взрывоопасным газовым средам, а 20, 21 и 22 — к взрывоопасным пылевым средам. Зоны классов 0 и 20 могут существовать постоянно, часто или в течение длительных промежутков времени, а зоны классов 1 и 21 — только при нормальных условиях эксплуатации (во время работы технологического оборудования). Появление зон классов 2 и 22 при нормальных условиях эксплуатации маловероятно, а если и возможно, то только в течение непродолжи-

тельного периода времени (обычно при неисправности оборудования).

По рекомендуемой Американским институтом нефти практике (API RP 505 [4]) время присутствия взрывоопасных зон 0, 1 и 2 имеет более конкретные значения:

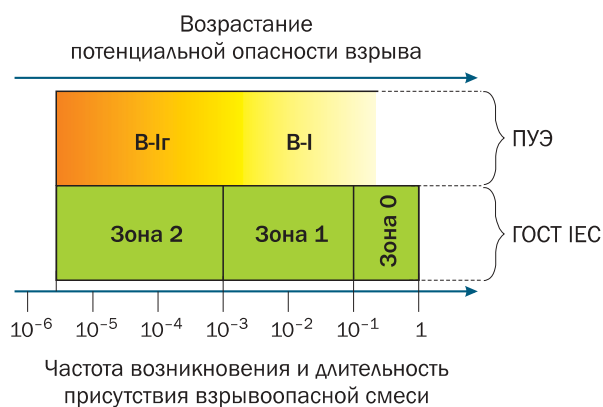
- класс зоны 0 — пространство, в котором взрывоопасная газовая среда может присутствовать 1000 ч в год и более;
- класс зоны 1 — пространство, в котором взрывоопасная газовая среда может присутствовать от 10 до 1000 ч в год;
- класс зоны 2 — пространство, в котором взрывоопасная газовая среда может присутствовать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

Многие специалисты считают, что разделение зон по предлагаемому в API RP 505 способу не всегда удобно для применения в проектной практике.

Условное сопоставление классов взрывоопасных зон по ПУЭ и стандартам МЭК представлено на рисунке.

На заседании Технического комитета 403 по стандартизации “Оборудование для взрывоопасных сред (Ех-оборудование)” в июне 2011 года были приняты следующие решения:

- 1) зоны классов В-Ia и В-Iб не могут приравниваться к зоне класса 2, так как сама возможность возникновения аварии с юридической стороны не определена как величина частоты возникновения и длительности присутствия взрывоопасной смеси;
- 2) в зонах классов В-Ia и В-Iб допускается применять оборудование, предназначенное для использования в зоне класса 2 и выше (уровень взрывозащиты оборудования 2);
- 3) зона класса В-Iг должна приравниваться к зоне 1, так как зона В-Iг частично перекрывает зону 1 (см. рисунок), а оборудование, применяемое в такой зоне, должно иметь уровень взрывозащиты 1;



Взаимосвязь классов зон по отечественным и зарубежным нормативным документам

4) в зонах класса В-I необходимо применять оборудование, предназначенное для эксплуатации в зоне 1 или 0 (уровень взрывозащиты оборудования 1 или 0);

5) в зоне класса В-I не допускается применять оборудование, предназначенное для эксплуатации в зоне 2;

6) в части зоны В-I, в которой взрывоопасная газовая смесь присутствует постоянно или в течение длительных периодов времени, допускается использовать оборудование, предназначенное для эксплуатации в зоне 0 (уровень взрывозащиты оборудования 0).

В заключение следует отметить, что в Федеральном законе № 123-ФЗ (ред. 10.07.2012 г.) проблема совместимости классов зон решена простым и совершенно не обоснованным объединением терминов из различных нормативных документов. Обозначения классов зон взяты из международных стандартов, а их определения в основном из ПУЭ. Таким образом, этот способ формально позволяет решить проблему выбора Ex-оборудования для взрывоопасных зон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат 1985. — 640 с.
2. ГОСТ IEC 60079-10-1-2011. Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды. — Введ. 15.02.2013 г. — М.: Стандартинформ, 2013.
3. ГОСТ IEC 60079-10-2-2011. Взрывоопасные среды. Часть 10-2. Классификация зон. Взрывоопасные пылевые среды. — Введ. 15.02.2013 г. — М.: Стандартинформ, 2013.
4. API RP 505. Recommended practice for classification of locations for electrical installations at petroleum facilities classified as Class I, Zone 0, Zone 1, and Zone 2. — American Petroleum Institute. First edition — November 1997.

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

Атака на огонь

Поиск и спасение

Определение очагов возгорания

Владение ситуацией

FLIR

Доступная цена

Прочные и надежные

Четкие ИК-изображения

Легко пользоваться, даже в перчатках

Создание простых отчетов в камере

www.flir.com

FLIR серии K

Портативные тепловизионные камеры для противопожарных подразделений

GIT Security Award 2014
в номинации
«Пожарная безопасность, взрывозащита и производственная безопасность»

РЕКЛАМА

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

В авторском резюме не даются ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

2.6. Ключевые слова (на русском и английском языках).

2.7. Текст статьи (в формате Word через 1,5 инт.; формулы должны быть набраны в Equation 3.0 или MathType).

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

Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. При этом цитируемый один в один текст из других публикаций следует брать в кавычки. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

2.9. Пристайные списки литературы в романском алфавите (латинице) — References.

Для References можно предложить следующий формат:

Author A. A., Author B. B., Author C. C. Title of article. *Title of Journal*, 2005, vol. 10, no. 2, pp. 49–53.

Примеры описаний в References

Статьи из журнала:

Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D. V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoye khozyaystvo — Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

(Авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] (представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо), курсивом название журнала (транслитерация — перевод), год выхода издания, номер журнала, интервал страниц. Нежелательно в ссылках делать произвольные сокращения названий источников).

Статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B. P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, vol. 5, no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed 28 April 2011).

Статьи с DOI:

Zhang Z., Zhu D. Experimental research on the localized electrochemical micro-machining. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2008, vol. 44, no. 8, pp. 926–930. doi: 10.1134/S1023193508080077.

(Если описываемая публикация имеет doi, его указание обязательно в References).

Статьи из периодического издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimentalnoye issledovaniye prochnosti soyedineniy “stal—kompozit” [Experimental study of the strength of joints “steel—composite”]. *Trudy MGTU “Matematicheskoye modelirovaniye slozhnykh tekhnicheskikh sistem”* [Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”], 2006, no. 593, pp. 125–130.

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalina I. Z., Mukhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proyektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniyyem 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 kompaktny tor*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

Описание патента:

Palkin M. V., e. a. *Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

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

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

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

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

6. К статьям, 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.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

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

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

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



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

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

- 1 **Сводь правил. Системы противопожарной защиты** (электронная версия). — 2011. Цена 500 руб.
- 2 **Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"**. — 2010. — 150 с. Цена 220 руб.
- 3 АНТОНЕНКО А. А., БУЦЫНСКАЯ Т. А., ЧЛЕНОВ А. Н. **Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения объектов**: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с. — ISBN 978-5-91444-017-3. Цена 380 руб.
- 4 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-Х. 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-Х. 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, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2014 г.)	4950		

- 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”



Sfitecx

ufi
Approved
Event

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

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.sfitecx.ru