

11-2013

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ
РАЗРАБОТКИ ПОЖАРНЫХ МАШИН
НА ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ
И КОЛЕСНЫХ ШАССИ



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

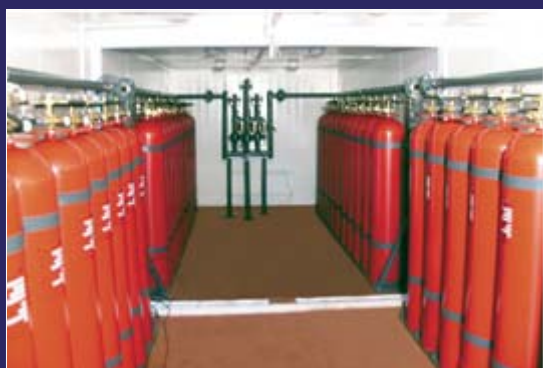
Система менеджмента качества сертифицирована как соответствующая требованиям 9001–2008



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
ППКУ 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)

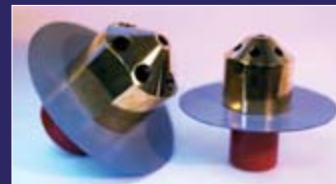


РЕКЛАМА

Распределительные устройства
(РУ) для комплектации АУГП
централизованного типа



Насадки для распыления
газовых огнетушащих веществ
(струйные и локальные)



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

КУЗНЕЦОВ Г. В., БАРАНОВСКИЙ Н. В.
Образование нагретых до высоких температур
частиц древесины в результате воздействия наземного
грозового разряда на ствол хвойного дерева

5

KUZNETSOV G. V., BARANOVSKIY N. V.
Wood heated to high temperatures particles formation
as a result of ground lightning discharge influence
on coniferous tree trunk

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

СОРОКИНА Ю. Н., ЧЕРНИКОВА Т. В., КАЛАЧ А. В.,
КАЛАЧ Е. В., ПИЩАЛЬНИКОВ А. В.
Влияние структуры молекулы на показатели
пожароопасности азотсодержащих органических веществ

12

SOROKINA Yu. N., CHERNIKOVA T. V., KALACH A. V.,
KALACH E. V., PISHCHALNIKOV A. V.
Effect of structure of the molecule on parameters
of fire hazard of nitrogen-containing organic substances

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

FIRE MODELING

КОЛПАКОВ В. Ф.
Синтез адаптивного алгоритма управления
ликвидацией лесных пожаров

17

KOLPAKOV V. F.
Synthesis of the adaptive control algorithm
liquidation of forest fires

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

ГОРЕВ В. А., МЕДВЕДЕВ Г. М.
Кинетические и газодинамические причины
аварийных взрывов водорода

24

GOREV V. A., MEDVEDEV G. M.
Kinetic and gazdynamic reasons
of accidental explosions of hydrogen

ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

FIRE ENGINEERING

ЗАХМАТОВ В. Д.
История и перспективы разработки пожарных машин
на военных гусеничных и колесных шасси

31

ZAKHMATOV V. D.
History and perspectives for development fire machines
at military caterpillar and wheel chassis

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

АЛЕШКОВ М. В., КУЗЬМЕНКО К. П., ИНЧИКОВ В. П.
Перспектива применения установок
газового пожаротушения на основе диоксида углерода
для тушения пожаров на объектах электроэнергетики

43

ALESHKOV M. V., KUZMENKO K. P., INCHIKOV V. P.
Perspective of use of gas-extinguishing plant
on the base of carbon dioxide for fire extinguishing
on electroenergetics facilities

СЕРЕБРЕННИКОВ С. Ю., ПРОХОРЕНКО К. В.,
ЧЕРНОВ С. В., ГРУБИЯН М. Б.
Тушение взрывчатых веществ и твердых ракетных топлив
аэрозольно-порошковым методом

49

SEREBRENNIKOV S. Yu., PROKHORENKO K. V.,
CHERNOV S. V., GRUBIYAN M. B.
Aerosol-powder method of explosive substances
and solid propellants extinguishing

ШАРШАНОВ А. Я., АБРАМОВ Ю. А., КИРЕЕВ А. А.
Моделирование поведения каплей компонентов
гелеобразующих огнетушащих систем
в высокотемпературной области

57

SHARSHANOV A. Ya., ABRAMOV Yu. A., KIREEV A. A.
Mathematical modeling of the behavior of droplets
of gel-forming fire extinguishing systems
in high-temperature area

АНЦУПОВ Е. В., РОДИВИЛОВ С. М.
Тушение пропан-воздушного пламени
гидрокарбонатами натрия и калия

64

ANTSUPOV E. V., RODIVILOV S. M.
Extinguishing of propane-air flame
by sodium and potassium hydrocarbonates

ШАРОВАРНИКОВ А. Ф., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А.
Тушение горючих жидкостей распыленной водой

70

SHAROVARNIKOV A. F., KOROL'CHENKO D. A.
Extinguishing of combustible liquid by atomized water

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

ТИМОШИН В. С.
Пожарная безопасность в плену проблем

75

TIMOSHIN V. S.
Fire safety in captivity of problems

ЛАНДЫШЕВ Н. В.
Сколько в доме первых этажей?
(О формулировках в нормативных документах)

80

LANDYSHEV N. V.
How many first floors are in the building?
(About formulations in normative documents)

ВОПРОС – ОТВЕТ

84

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 ВИНИТИ 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.



Возгорание от наземного грозового разряда



Алгоритм управления ликвидацией лесных пожаров

Стр. 5

Стр. 17



Пожарные машины на военных шасси

Стр. 31



Применение УГП на основе диоксида углерода

Стр. 43

Стр. 49



Тушение взрывчатых веществ и твердых ракетных топлив

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)

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

Корольченко Д. А., к. т. н. (Россия)

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

Меркулов В. А., к. т. н. (Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

Учредитель — ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

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

121352, г. Москва, а/я 43.

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

Подписано в печать 07.11.2013.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.



Founder:
"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:
Editor-in-Chief **Korol'chenko A. Ya.**
Editorial director **Sokolova N. N.**
Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia
Phone/Fax: (495) 228-09-03,
8-909-940-01-85
E-mail: info@fire-smi,
mail@firepress
Website: www.fire-smi.ru,
www.firepress.ru

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

Signed for printing 07.11.2013
Format is 60x84 1/8
Printing is 5 000 copies
Chalk-overlay mat paper
Offset printing

Chairman of Editorial Board:

Korol'chenko A. Ya.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of International
Academy of Ecology and Life Safety (Russia)

Deputy Chairman of Editorial Board:

Molkov V. V.,
Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

Editorial Board:

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

Barbin N. M.,
Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

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

Kiryukhantsev Ye. Ye.,
Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Korolchenko D. A.,
Candidate of Technical Sciences (Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Shebeko Yu. N.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science (Russia)

Thomas Jim Shields,
Professor (Great Britain)

Г. В. КУЗНЕЦОВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, заместитель проректора-директора по научной работе Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: firedanger@narod.ru)

Н. В. БАРАНОВСКИЙ, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры теоретической и промышленной теплотехники Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: firedanger@narod.ru)

УДК 533.6

ОБРАЗОВАНИЕ НАГРЕТЫХ ДО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ЧАСТИЦ ДРЕВЕСИНЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАЗЕМНОГО ГРОЗОВОГО РАЗРЯДА НА СТОЛ ХВОЙНОГО ДЕРЕВА

Рассмотрена теплофизическая модель разогрева древесины ствола хвойного дерева в результате действия электрического тока наземного грозового разряда. Смоделировано напряженно-деформированное состояние ствола дерева, обусловленное действием термических напряжений. Проведено параметрическое исследование влияния вольт-амперных характеристик разряда на распределение температуры в стволе дерева; получены зависимости термических напряжений по радиальной координате. Определены размеры нагретых до высоких температур частиц, образующихся в результате диспергирования приповерхностных слоев ствола хвойного дерева.

Ключевые слова: наземный грозовой разряд; частица; образование; термические напряжения; хвойное дерево.

Введение

Грозовая активность [1] является одним из факторов возникновения лесных пожаров в различных регионах [2]. И хотя доля возгораний от наземного грозового разряда в общем числе пожаров относительно невелика, для них характерны большие площади выгоревших массивов [2]. Это обусловлено тем, что такие возгорания часто возникают на удаленных от больших транспортных магистралей и населенных пунктов лесопокрытых территориях. Во многих странах мира уже существуют системы пеленгации наземных грозовых разрядов [3], данные которых могут быть использованы для прогнозирования и мониторинга лесных пожаров [2]. Ранее была разработана система оценки лесной пожарной опасности от грозовой активности [4], которая, однако, не учитывает физические процессы, протекающие в слое лесного горючего материала (ЛГМ) при возникновении возгорания. В то же время были получены результаты в рамках разработки детерминированно-вероятностного метода прогнозирования лесной пожарной опасности [5]: создан ряд математических моделей зажигания дерева лиственной или хвойной породы наземным грозовым разрядом [6, 7]. Следует отметить, что возможны три сценария воздействия тока наземного грозового разряда

на дерево: 1) разогрев в результате выделения джоулева тепла и последующее воспламенение ствола дерева; 2) разогрев ствола дерева аналогично первому варианту, диспергирование приповерхностных слоев дерева с образованием нагретых до высоких температур частиц и с последующим выпадением их на слой ЛГМ в окрестности ствола и, как следствие, его воспламенение [8]; 3) растекание тока разряда в корневой структуре дерева с образованием искровых разрядов и последующим воспламенением слоя ЛГМ [9]. Для нас представляет интерес исследование второго варианта развития возгорания.

Цель исследования — изучение влияния вольт-амперных характеристик разряда на процессы диспергирования приповерхностных слоев ствола хвойного дерева.

Математическая постановка задачи

Задача решается для цилиндра, моделирующего ствол дерева. Рассматривается определенное сечение ствола. Схема области решения представлена на рис. 1.

Процесс разогрева дерева под воздействием наземного грозового разряда перед зажиганием описывается системой нестационарных дифференциальных уравнений теплопроводности [10]:

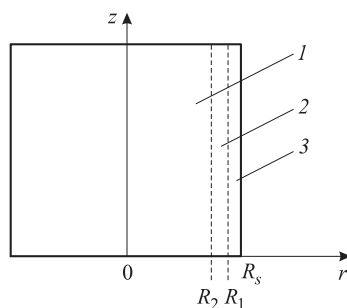


Рис. 1. Схема области решения: 1 — сердцевина; 2 — подкорковая зона; 3 — кора ствола дерева; R_s — внешний радиус ствола; R_1 — граница раздела подкорковой зоны и коры; R_2 — граница раздела сердцевины и подкорковой зоны

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\lambda_1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right); \quad (1)$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\lambda_2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + JU; \quad (2)$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \frac{\lambda_3}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_3}{\partial r} \right). \quad (3)$$

Граничные условия для уравнений (1)–(3):

$$r = 0: \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = 0; \quad (4)$$

$$r = R_2: \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}, \quad T_1 = T_2; \quad (5)$$

$$r = R_1: \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}, \quad T_2 = T_3; \quad (6)$$

$$r = R_s: \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} = \alpha_e (T_e - T_3). \quad (7)$$

Начальные условия для уравнений (1)–(3):

$$t = 0: \quad T_i(r) = T_{i0}(r), \quad i = 1, 2, 3. \quad (8)$$

В уравнениях (1)–(8) T_i , ρ_i , c_i , λ_i — температура, плотность, теплоемкость и теплопроводность сердцевины ($i = 1$), подкорковой зоны ($i = 2$), коры ($i = 3$) ствола; t — время; r — координата; J — сила тока наземного грозового разряда; U — напряжение наземного грозового разряда; α_e — коэффициент теплоотдачи; “0” — индекс, соответствующий параметрам древесины в начальный момент времени.

Исходные данные (для древесины сосны):

- для сердцевины:
 $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$; $c = 1670 \text{ Дж/(кг·К)}$;
 $\lambda = 0,12 \text{ Вт/(м·К)}$;
- для подкоркового слоя:
 $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$; $c = 2600 \text{ Дж/(кг·К)}$;
 $\lambda = 0,35 \text{ Вт/(м·К)}$;
- для коры:
 $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$; $c = 1670 \text{ Дж/(кг·К)}$;
 $\lambda = 0,12 \text{ Вт/(м·К)}$.

Физико-механические характеристики: $\mu = 0,06$; $E = 10000 \text{ МПа}$; $\alpha = 29,7 \cdot 10^{-6}$ (где μ — коэффициент Пуассона; E — модуль упругости; α — температурный коэффициент линейного расширения).

Геометрические характеристики области решения: $R_s = 0,25 \text{ м}$; $R_1 = 0,245 \text{ м}$; $R_2 = 0,235 \text{ м}$.

Параметры внешней среды: $\alpha_e = 80 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$; $T_e = 300 \text{ К}$.

Задача (1)–(8) решалась методом конечных разностей [11]. Для решения необходимо было учитывать напряженно-деформированное состояние нагреваемого до высоких температур тонкого приповерхностного слоя древесины ствола, в котором происходит интенсивное тепловыделение по закону Джоуля–Ленца. Для оценки уровня возникающих термических напряжений и деформаций использовалась модель напряженно-деформированного состояния [12, 13], апробированная для условий нагрева теплозащитных материалов [14]:

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu} \left[-\frac{1}{r^2} \int_{r_1}^r \alpha T r dr + \frac{r^2 - r_1^2}{(r_2^2 - r_1^2) r^2} \int_{r_1}^{r_2} \alpha T r dr \right]; \quad (9)$$

$$\sigma_\varphi = \frac{E}{1-\mu} \left[-\frac{1}{r^2} \int_{r_1}^r \alpha T r dr + \frac{r^2 + r_1^2}{(r_2^2 - r_1^2) r^2} \int_{r_1}^{r_2} \alpha T r dr - \alpha T \right]; \quad (10)$$

$$\sigma_z = \frac{E}{1-\mu} \left[\frac{2\mu}{r_2^2 - r_1^2} \int_{r_1}^{r_2} \alpha T r dr - \alpha T \right], \quad (11)$$

где σ_r , σ_φ , σ_z — термические напряжения соответственно радиальные, тангенциальные и осевые.

При постановке задачи не рассматривались химические процессы, возможные при разогреве древесины до высоких температур [6] (термическое разложение, окисление газообразных и твердых продуктов пиролиза воздуха).

Основные закономерности и обсуждение

Проведены расчеты процесса разогрева древесины ствола хвойного дерева в условиях воздействия грозового разряда в совокупности с моделированием напряженно-деформированного состояния древесины. Сила тока варьировалась от 15 до 35 кА при напряжении 100 кВ. Напряжение изменялось в диапазоне 50–120 кВ при силе тока 23,5 кА.

На рис. 2 представлены зависимости радиальных, тангенциальных и осевых термических напряжений

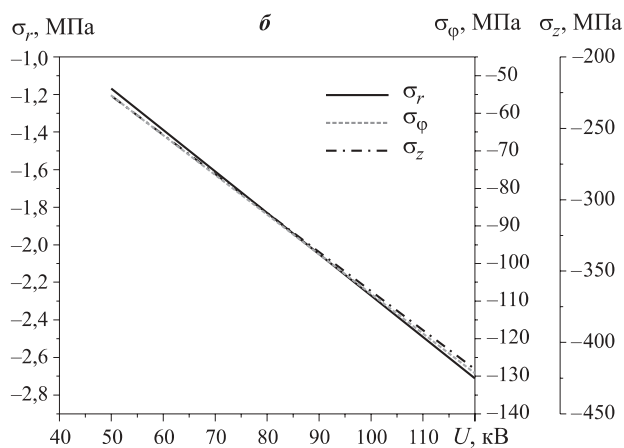
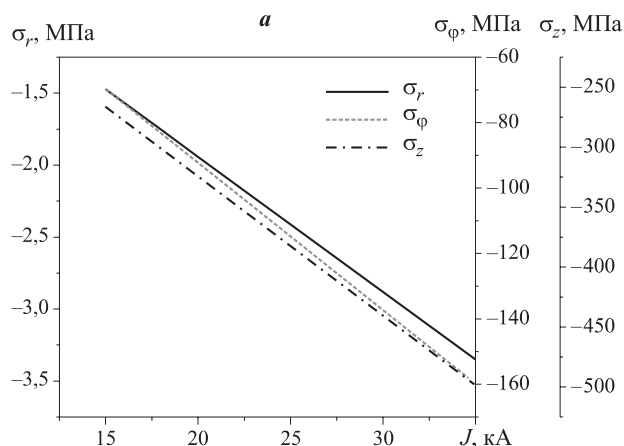


Рис. 2. Зависимость радиальных, тангенциальных и осевых термических напряжений в подкорковой зоне ствола дерева от силы тока (а) и напряжения (б) наземного грозового разряда

в подкорковой зоне ствола дерева от силы тока и напряжения наземного грозового разряда.

В результате расчетов выявлены следующие закономерности. Для термических напряжений сжатия характерна линейная зависимость от силы тока и напряжения грозового разряда. Радиальные напряжения не превышают предел прочности древесины на сжатие, и растрескивания по этой координате не происходит. Материал ствола разрушается в результате роста тангенциальных и осевых напряжений. Диспергирование материала возможно еще до его значительного разогрева и воспламенения, а также после достижения фрагментами древесины температур, при которых выпадающая частица может привести к воспламенению напочвенного слоя ЛГМ.

На рис. 3 представлено распределение температуры по радиальной координате хвойного дерева. Как видно из рисунка, температура в подкорковой зоне достигает значений, при которых возможно воспламенение природных горючих материалов [15]. Образующиеся при воздействии наземного грозового разряда нагретые до высоких температур час-

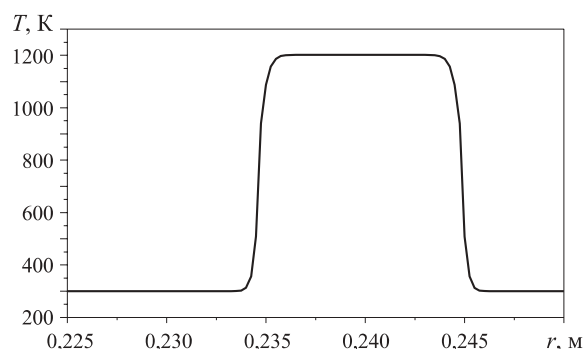


Рис. 3. Зависимость температуры от радиальной координаты при $t = 0,5$ с, $J = 23,5$ кА, $U = 100$ кВ

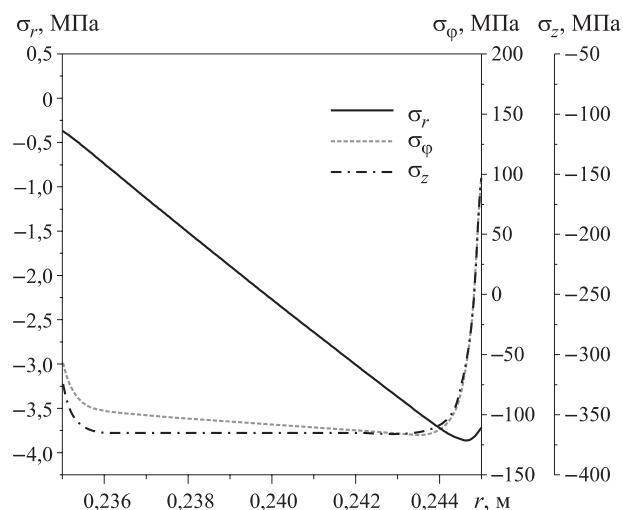


Рис. 4. Распределение радиальных, тангенциальных и осевых напряжений по радиусу ствола дерева при $t = 0,5$ с, $J = 23,5$ кА, $U = 100$ кВ

тицы древесины могут выпадать на напочвенный слой лесного горючего материала, что может привести к его воспламенению. Это доказано и теоретически [17], и экспериментально [18–20].

Необходимо оценить характерные размеры частиц разогретой древесины, образующихся при растрескивании ствола под воздействием термических напряжений. На рис. 4 представлены зависимости радиальных, тангенциальных и осевых напряжений от радиальной координаты ствола дерева. Из рисунка видно, что растрескиванию подвержена подкорковая зона ствола дерева. Отсюда можно сделать вывод, что возможно образование частиц размером, сопоставимым с размерами подкорковой зоны (порядка 5 мм). Кроме того, возможен срыв коры хвойного дерева под воздействием термических напряжений, что подтверждается данными наблюдений [16].

В настоящее время в России развивается информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ–Рослесхоз) [21]. В системе доступны данные по параметрам наземного грозового разряда. Возможна разработка дополнитель-

ных модулей для этой системы на базе настоящей работы, что позволит получать физически обоснованный прогноз лесной пожарной опасности, обусловленной грозовой активностью, на территории Российской Федерации.

Заключение

В работе представлены основные закономерности процесса растрескивания древесины ствола в результате его разогрева под воздействием джоулева тепла, выделяемого в подкорковой зоне хвойного дерева при наземном грозовом разряде. Для различных значений силы тока и напряжения наземного

грозового разряда установлены условия диспергирования древесины. Выявлен один из возможных вариантов зажигания напочвенного покрова ЛГМ в результате выпадения нагретых до высоких температур частиц древесины, образовавшихся в процессе ее диспергирования под воздействием термических напряжений.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 годы (мероприятие 1.5). Соглашение № 14.В37.21.1979.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В. И., Муллаяров В. А. Грозовая активность в Якутии. — Якутск : ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. — 104 с.
2. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
3. Cummins K. L., Murphy M. J., Bardo E. A. et al. A combined TOA/MDF technology upgrade of the U.S. national lightning detection network // J. Geophys. Res. — 1998. — Vol. 103. — P. 9035–9044.
4. Пономарев Е. И., Иванов В. А., Коришунов Н. А. Спутниковые данные TOVS при решении задачи прогнозирования грозовой пожарной опасности в лесу // География и природные ресурсы. — 2006. — № 1. — С. 147–150.
5. Барановский Н. В., Кузнецов Г. В. Конкретизация неуставленных причин в детерминированно-вероятностной модели прогноза лесной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 24–27.
6. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Исследование физико-химических процессов зажигания хвойного дерева наземным грозовым разрядом // Бутлеровские сообщения. — 2010. — Т. 20, № 6. — С. 52–58.
7. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания дерева лиственной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 4. — С. 19–22.
8. Барановский Н. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Об одном из возможных механизмов зажигания лесных горючих материалов грозовым разрядом // Бутлеровские сообщения. — 2012. — Т. 32, № 13. — С. 88–94.
9. Иванов В. А., Иванова Г. А., Кукавская Е. А. Зона возможного зажигания молнией напочвенного горючего материала в лесу // Лесное хозяйство. — 2006. — № 5. — С. 40–43.
10. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 41–45.
11. Самарский А. А., Николаев Е. С. Методы решения сеточных уравнений. — М. : Наука, 1978. — 590 с.
12. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. — М. : Мир, 1964. — 517 с.
13. Паркус Г. Неуставившиеся температурные напряжения. — М. : Физматлит, 1963. — 252 с.
14. Кузнецов Г. В., Рудзинский В. П. Исследование процесса разрушения поверхности теплозащитных и конструкционных материалов при интенсивном теплообмене с внешней средой // Теплофизика высоких температур. — 1992. — № 3. — С. 529–533.
15. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. — Новосибирск : Наука, 1992. — 408 с.
16. Иванов В. А. Методологические основы классификации лесов Средней Сибири по степени пожарной опасности от гроз : дис. ... д-ра с.-х. наук. — Красноярск : СибГТУ, 2006. — 350 с.
17. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Численное исследование задачи о зажигании слоя лесного горючего материала нагретой до высоких температур частицей в плоской постановке // Химическая физика и мезоскопия. — 2011. — Т. 13, № 2. — С. 173–181.

18. Захаревич А. В., Барановский Н. В., Максимов В. И. Зажигание лесного горючего материала углеродистой нагретой до высоких температур частицей // Бутлеровские сообщения. — 2012. — Т. 29, № 2. — С. 102–108.
19. Захаревич А. В., Барановский Н. В., Максимов В. И. Зажигание лесных горючих материалов одиночными, нагретыми до высоких температур частицами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 4. — С. 13–16.
20. Захаревич А. В., Барановский Н. В., Максимов В. И. Экспериментальное исследование процессов зажигания опада широколиственных пород деревьев источником ограниченной энергоемкости // Экологические системы и приборы. — 2012. — № 7. — С. 18–23.
21. Подольская А. С., Ершов Д. В., Шуляк П. П. Применение метода оценки вероятности возникновения лесных пожаров в ИСДМ–Рослесхоз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2011. — Т. 8, № 1. — С. 118–126.

Материал поступил в редакцию 22 мая 2013 г.

English

WOOD HEATED TO HIGH TEMPERATURES PARTICLES FORMATION AS A RESULT OF GROUND LIGHTNING DISCHARGE INFLUENCE ON CONIFEROUS TREE TRUNK

KUZNETSOV G. V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Assistant to Prorector-Director on Scientific Work, Power Engineering Institute of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: firedanger@narod.ru)

BARANOVSKIY N. V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor of Theoretical and Industrial Heating Engineers Department, Power Engineering Institute of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: firedanger@narod.ru)

ABSTRACT

Probably three scenarios of influence of ground lightning discharge current on a tree: 1) as a result of Joule heat emission occurs having warmed up and the subsequent ignition of a tree trunk; 2) there is a tree trunk warming up to similarly first variant and surface layers of tree dispersion to formation heated up to high temperatures particles and their subsequent loss on forest fuel layer in vicinities of a trunk and, as consequence, its ignition; 3) the discharge current spreads in root structure of a tree with formation of spark discharges and the subsequent ignition of forest fuel layer. Research of the second variant of forest fire ignition development is of interest.

Research objective — studying of influence volt-ampere characteristics of the discharge on processes of surface layers dispersion of trunk of a coniferous tree.

The problem dares for the cylinder which models a tree trunk. The certain section of a trunk is considered. Process of a warming up of a tree by a ground lightning discharge before ignition is described by system of the non-stationary differential equations of heat conductivity.

For the decision of the present problem it is necessary to consider also its intense-deformed condition heated up to heats of thin surface layer of wood of a trunk in which there is an intensive thermal emission under the Joule law. For an estimation of level of arising thermal pressure and deformations the model of its intense-deformed condition approved for conditions of heating of heat-shielding materials is used.

In work the basic laws of dispersion process of trunk wood as a result of its warming up under the influence of Joule heat emission in a subcrustal zone of a coniferous tree at a ground lightning discharge are presented. For various values of current and voltage of a ground lightning discharge conditions of wood dispersion are established. One of possible variants of surface forest fuel ignition as a result of heated particles loss formed in the course of it dispersion under the influence of thermal pressure is revealed.

Keywords: ground lightning discharge; particle; formation; thermal pressures; coniferous tree.

REFERENCES

1. Kozlov V. I., Mullayarov V. A. *Grozovaya aktivnost v Yakutii* [Storm activity in Yakutia]. Yakutsk, Yakutsk Publishing houses of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 2004. 104 p.
2. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Forecast of forest fire occurrence and their ecological consequences]. Novosibirsk, Publishing house of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, 2009. 301 p.
3. Cummins K. L., Murphy M. J., Bardo E. A. et al. A combined TOA/MDF technology upgrade of the U.S. national lightning detection network. *J. Geophys. Res.*, 1998, vol. 103, pp. 9035–9044.
4. Ponomarev E. I., Ivanov V. A., Korshunov N. A. Sputnikovyye dannyye TOVS pri reshenii zadach prognozirovaniya grozovoy pozharney opasnosti v lesu [Satellite data TOVS at the decision of a problem of forecasting of storm fire danger in forest]. *Geografiya i prirodnyye resursy — Geography and Natural Resources*, 2006, no. 1, pp. 147–150.
5. Baranovskiy N. V., Kuznetsov G. V. Konkretizatsiya neustanovlennyykh prichin v determinirovannoy veroyatnostnoy modeli prognoza lesnoy pozharney opasnosti [Concrete definition of the unstated reasons in deterministic-probabilistic forecasting model of forest fire danger]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 24–27.
6. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Issledovaniye fiziko-khimicheskikh processov zazhiganiya khvonnogo dereva nazemnym grozovym razryadom [Research of physical and chemical processes of ignition of a coniferous tree by a ground lightning discharge]. *Butlerovskiyе soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2010, vol. 20, no. 6, pp. 52–58.
7. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Matematicheskoye modelirovaniye zazhiganiya dereva listvennoy porody nazemnym grozovym razryadom [Mathematical simulation of deciduous tree ignition by ground lightning discharge]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 4, pp. 19–22.
8. Baranovskiy N. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I. Ob odnom iz vozmozhnykh mekhanizmov zazhiganiya lesnykh goryuchikh materialov grozovym razryadom [About one of possible mechanisms of ignition of wood combustible materials by lightning discharge]. *Butlerovskiyе soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2012, vol. 32, no. 13, pp. 88–94.
9. Ivanov V. A., Ivanova G. A., Kukavskaya E. A. Zona vozmozhnogo zazhiganiya molniyey napochvennogo goryuchego materiala v lesu [Zone of possible ignition by a lightning of surface combustible material in forest]. *Lesnoye hozyaystvo — Forestry*, 2006, no. 5, pp. 40–43.
10. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Matematicheskoye modelirovaniye zazhiganiya dereva khvonnogo porody nazemnym grozovym razryadom [Mathematical modeling of ignition of a tree of coniferous breed by a ground lightning discharge]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 3, pp. 41–45.
11. Samarskiy A. A., Nikolaev E. S. *Metody resheniya setochnykh uravneniy* [Methods to decision of the net equations]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 590 p.
12. Boley B. A., Weiner J. H. *Teoriya temperaturnykh napryazheniy* [The theory of temperature pressure]. Moscow, Mir Publ., 1964. 517 p.
13. Parkus G. *Neustanovivshiesya temperaturnyye napryazheniya* [Unsteady temperature pressure]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1963. 252 p.
14. Kuznetsov G. V., Rudzinskiy V. P. Issledovaniye processa razrusheniya poverkhnosti teplozashchitnykh i konstruktsionnykh materialov pri intensivnom teploobmene s vneshney sredoy [Research of destruction process of a surface of heat-shielding and constructional materials at intensive heat exchange with an environment]. *Teplofizika vysokikh temperatur — Thermophysics of High Temperatures*, 1992, no. 3, pp. 529–533.
15. Grishin A. M. *Matematicheskoye modelirovaniye lesnykh pozharov i novyye sposoby borby s nimi* [Mathematical modeling of forest fires and new ways of struggle against them]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1992. 408 p.
16. Ivanov V. A. *Metodologicheskiye osnovy klassifikatsii lesov Sredney Sibiri po stepeni pozharney opasnosti ot groz* [Methodological bases of classification of forests of Middle Siberia on degree of fire danger from thunder-storms. Diss. of Doctor of Sciences in agriculture]. Krasnoyarsk, Siberian State Technological University Publ., 2006. 350 p.
17. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Chislennoye issledovaniye zadachi o zazhiganii sloya lesnogo goryuchego materiala nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey v ploskoy postanovke [Numerical problem research about ignition of a layer of a forest fuel by heated up to high temperatures particle in flat statement]. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya — Chemical Physics and Mesoscopy*, 2011, vol. 13, no. 2, pp. 173–181.

18. Zakharevich A. V., Baranovskiy N. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye lesnogo goryuchego materiala ugle-rodystoy nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Ignition of a forest fuel by carbonaceous heated to high temperatures particle]. *Butlerovskiyе soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2012, vol. 29, no. 2, pp. 102–108.
19. Zakharevich A. V., Baranovskiy N. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye lesnykh goryuchikh materialov odinochnymi, nagretyimi do vysokikh temperatur chastitsami [Ignition of forest fuel materials by the single particles, heated up to high temperatures]. *Pozharovzryvobesopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 4, pp. 13–16.
20. Zakharevich A. V., Baranovskiy N. V., Maksimov V. I. Experimentalnoye issledovaniye protsessov zazhiganiya opada shirokolistvennykh porod derevyev istochnikami ogranichennoy energoemkosti [The experimental research of ignition processes of deciduous tree leaves by a source of limited power consumption]. *Ekologicheskkiye systemy i pribory — Ecological Systems and Devices*, 2012, no. 7, pp. 18–23.
21. Podolskaya A. S., Ershov D. V., Shulyak P. P. Primeneniye metoda otsenki veroyatnosti vozniknove-niya lesnykh pozharov v ISDM–Rosleskhoz [Application of method of estimation of forest fire occur-rence probability in ISDM–Rosleskhoz]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa — Modern Problems of Remote Sounding of the Earth from Space*, 2011, vol. 8, no. 1, pp. 118–126.



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

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)

Е. В. КАЛАЧ, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры физики Воронежского института Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231)

А. В. ПИЩАЛЬНИКОВ, начальник лаборатории ФГБУ "Судебно-экспертное учреждение Федеральной противопожарной службы "Испытательная пожарная лаборатория по Пермскому краю" (Россия, 614990, г. Пермь, ул. Большевикская, 53а; e-mail: rina04@rambler.ru)

УДК 614.841.41

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ МОЛЕКУЛЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРООПАСНОСТИ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Показана возможность использования метода расчета дескрипторов для прогнозирования пожароопасных свойств ароматических аминов и нитросоединений. Дескрипторы, рассчитанные в работе, оказались чувствительными к структурной изомерии и природе заместителей в молекуле. Установлена корреляция между структурой молекулы и температурой вспышки вещества. Получены аппроксимационные уравнения для расчета температуры вспышки исследуемых веществ.

Ключевые слова: пожароопасные свойства; температура вспышки; дескрипторы; ароматические амины; нитросоединения.

На современном этапе развития химии, когда накоплен и организован в виде электронных баз огромный объем экспериментальных данных, особое внимание уделяется компьютерным методам обработки характеристик уже исследованных веществ с целью предсказания свойств еще не изученных соединений либо новых, пока не синтезированных веществ.

Исследованию пожароопасных свойств веществ посвящено большое количество работ [1–6]. Определение показателей пожароопасности в них производилось с помощью расчетов, основанных на экспериментальных данных. Проведение эксперимента по изучению некоторых характеристик пожароопасности веществ сопряжено со значительными затратами, связанными с аппаратным обеспечением измерений, наличием примесей в изучаемых образцах, возможной нестойкостью, токсичностью и агрессивностью веществ [3, 4]. В связи с этим актуальным является вопрос о разработке расчетных методов исследования, позволяющих прогнозировать пожароопасные свойства новых, еще не изученных веществ, минуя стадию экспериментальной оценки. Несмотря

на актуальность этой задачи, до последнего времени отсутствовала универсальная, строго обоснованная и доступная для понимания методология прогнозирования свойств химических соединений.

Целью данной работы является прогнозирование температуры вспышки азотсодержащих органических соединений с использованием метода расчета дескрипторов.

Фрагментный дескриптор представляет собой числовую характеристику химической структуры, показывающую, присутствует ли внутри нее определенный структурный фрагмент, либо специфицирующую, сколько раз он в ней содержится. К преимуществам фрагментных дескрипторов относятся: простота и эффективность вычислений; простота интерпретации со структурно-химической точки зрения; базисный характер, выражающийся в возможности аппроксимировать с их помощью любую зависимость *структура – свойство* [7–13].

Ранее в работах [14–16] была показана возможность прогнозирования температуры вспышки кислородсодержащих органических веществ методом

расчета дескрипторов. Был получен ряд аппроксимационных уравнений для расчета температуры вспышки альдегидов, алкилацетатов и ароматических сложных эфиров. Погрешность результатов прогнозирования не превышала 10 °С.

В качестве объектов данного исследования были выбраны ароматические амины (анилин, 2-метиланилин, 2,3-диметиланилин, этиланилин, *n*-бутиланилин и *n*-этил-*n*-бензиланилин), предельные нитросоединения (нитрометан, нитроэтан, 1-нитропропан, 2-нитропропан, 1-нитробутан, 1-нитропентан, 1-нитрогексан) и ароматические нитросоединения (нитробензол, 2-нитротолуол, 4-нитротолуол, 3-нитротолуол, 2-нитробифенил). Выбор соединений — представителей данных классов обусловлен широким применением их в промышленности. Исследуемые соединения входят в состав топлив, лаков и красок, лекарственных препаратов, парфюмерии и т. п.

Для выбранных органических соединений рассчитаны значения дескрипторов, характеризующих особенности топологии, геометрии и электростатики молекулы. Результаты расчетов и справочные значения температуры вспышки данных веществ [3–5] приведены в табл. 1.

Установлено, что увеличение длины углеводородного радикала молекулы характеризуется резким возрастанием значений ряда дескрипторов. Например, топологический индекс Винера W в ряду анилин – *n*-бутиланилин изменяется от 42 до 182. При этом перемещение функциональной группы по углеводородной цепи не приводит к существенному изменению значений дескрипторов. Так, индекс Рандича χ и гравитационный индекс G_1 для нитропроизводных толуола не изменяются.

Ароматические соединения по сравнению с насыщенными характеризуются более высокими значениями индекса Винера и гравитационных индексов. Установлено, что появление в молекуле еще одного ароматического кольца приводит к значительному увеличению значений ряда дескрипторов: например, индекс Винера для *n*-этил-*n*-бензиланилина по сравнению с этиланилином возрастает почти в 5 раз, а для 2-нитробифенила по сравнению с нитробензолом — в 4 раза (см. табл. 1). Эти изменения коррелируют с температурой вспышки данных соединений.

В результате анализа и обобщения показателей пожароопасности изученных азотсодержащих органических соединений (см. табл. 1) установлено, что данные свойства зависят от строения молекулы вещества. Температура вспышки соединений возрастает при удлинении углеводородной цепи и усложнении строения молекулы. Например, в ряду анилин – *n*-бутиланилин температура вспышки изменяется от 73 до 107 °С, в ряду нитрометан –

Таблица 1. Температуры вспышки $t_{всп}$ и значения молекулярных дескрипторов для некоторых азотсодержащих органических соединений

Вещество	$t_{\text{всп}},$ °C	Дескриптор				$S, \text{\AA}$
		W	χ	Гравитацион- ный индекс		
				G_1	G_2	
<i>Ароматические амины</i>						
Анилин	73	42	5,11	584	909	127
2-Метиланилин	81	60	6,00	666	1101	143
2,3-Диметил- анилин	97	82	7,00	748	1298	160
Этиланилин	85	94	6,52	761	1240	174
<i>n</i> -Бутиланилин	107	182	8,00	924	1536	219
<i>n</i> -Этил- <i>n</i> -бен- зиланилин	150	460	10,20	1427	2986	247
<i>Предельные нитросоединения</i>						
Нитрометан	35	9	3,58	348,5	469,1	86,5
Нитроэтан	30	18	4,28	205,7	299,0	212,5
1-Нитропропан	36	32	4,99	244,8	365,7	148,8
2-Нитропропан	39	29	5,15	223,1	382,0	150,5
1-Нитробутан	47	52	5,70	283,8	429,1	183,5
1-Нитропентан	61	79	6,40	322,8	491,3	218,9
1-Нитрогексан	73	114	7,11	361,8	552,9	252
<i>Ароматические нитросоединения</i>						
Нитробензол	88	88	6,69	838,0	1428,0	148,7
2-Нитротолуол	96	114	7,56	919,4	1668,6	163,4
4-Нитротолуол	117	120	7,56	919,4	1612,8	175,5
3-Нитротолуол	108	117	7,56	919,3	1618,4	169,0
2-Нитробифенил	143	352	10,67	1405,7	2960,3	222,8
Примечание. S — площадь поверхности молекулы.						

1-нитрогексан — от 35 до 73 °С. Таким образом, аналогичные закономерности в изменении значений дескрипторов и показателей пожароопасности изученных органических соединений указывают на взаимосвязь между этими параметрами.

На основании проведенных исследований получены аппроксимационные уравнения для расчета температуры вспышки соединений, относящихся к рассмотренным гомологическим рядам (коэффициент корреляции $r^2 = 0,99$):

$$t_{всп} = a + bW + c\chi + dG_1 + eG_2 + fS,$$

где a, b, c, d, e, f — коэффициенты (табл. 2).

Следующим этапом исследований являлась проверка адекватности полученных аппроксимационных уравнений. В связи с недостаточностью литературных данных по температурам вспышки нитросоединений апробация была проведена только для гомологического ряда ароматических аминов. Были

Таблица 2. Значения коэффициентов для аппроксимационных уравнений

Гомологический ряд	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
Ароматические амины	121	–0,04	–	–1,02	0,32	1,98
Предельные нитросоединения	6,67	0,31	0,18	–0,042	0,086	–0,006
Ароматические нитросоединения	$4,6 \cdot 10^{-6}$	0,484	$-2,7 \cdot 10^{-5}$	0,018	–0,091	1,08

Таблица 3. Результаты прогнозирования температуры вспышки ароматических аминов

Вещество	Температура вспышки, °С		Абсолютная погрешность расчетов, °С
	расчетная	справочная [3, 4]	
3-Метиланилин	73	86	13
4-Метиланилин	87	87	0
N,N-Диметиланилин	44	63	19
2,3-Диметиланилин	87	97	10
α -Диметиламиноэтил-бензол	75	79	4
2-Метил-6-этиланилин	108	104	4
Этиланилин	82	85	3
Средняя абсолютная погрешность, °С			7,5

рассчитаны значения температуры вспышки соединений, не вошедших в выборку при получении уравнения (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что среднее абсолютное отклонение рассчитанных значений температуры вспышки ароматических аминов от справочных не превышает 10 °С. Таким образом, полученное аппроксимационное уравнение можно применять для прогнозирования температуры вспышки ароматических аминов без проведения эксперимента.

Литературные данные по свойствам нитросоединений малочисленны. Это касается как пожароопасных свойств, так и других характеристик, которые требуются для их расчета, например данных по температурам кипения и теплотам сгорания веществ. Возможность прогнозирования температуры вспышки на основе данных по дескрипторам подтверждена на примере аминов, альдегидов, алкил-ацетатов и сложных ароматических эфиров [14–16]. В связи с этим полученные аппроксимационные уравнения можно использовать также для ориентировочной оценки температуры вспышки нитросоединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Шебеко Ю. Н., Навецня В. Ю., Копылов С. Н. и др. Расчет основных показателей пожароопасности веществ и материалов : руководство. — М. : ВНИИПО, 2002. — 77 с.
3. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. В 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
4. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. В 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 2. — 774 с.
5. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Смирнов В. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. Часть VII. Нитроалканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 22–24.
6. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. Часть VIII. Сложные эфиры (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 31–57.
7. Zefirov N. S., Palyulin V. A. Fragmental Approach in QSPR // J. Chem. Inf. Comput. Sci. — 2002. — Vol. 42, No. 5. — P. 1112–1122.
8. Japertas P., Didziapetris R., Petrauskas A. Fragmental methods in the design of new compounds. Application of the Advanced Algorithm Builder // Quant. Struct.-Act. Relat. — 2002. — Vol. 21, No. 1. — P. 23–37.
9. Артеменко Н. В., Баскин И. И., Палюлин В. А., Зефирова Н. С. Искусственные нейронные сети и фрагментный подход в прогнозировании физико-химических свойств органических соединений // Изв. РАН, Сер. хим. — 2003. — № 1. — С. 19–28.
10. Merlot C., Domine D., Church D. J. Fragment analysis in small molecule discovery // Curr. Opin. Drug Discov. Devel. — 2002. — Vol. 5, No. 3. — P. 391–399.

11. Varnek A., Fourches D., Hoonakker F., Solov'ev V. P. Substructural fragments: an universal language to encode reactions, molecular and supramolecular structures // J. Comput. Aided Mol. Des. — 2005. — Vol. 19, No. 9–10. — P. 693–703.
12. Baskin I., Varnek A. Building a chemical space based on fragment descriptors // Comb. Chem. High Throughput Screening. — 2008. — Vol. 11, No. 8. — P. 661–668.
13. Baskin I., Varnek A., Tropsha A. (eds). Fragment Descriptors in SAR/QSAR/QSPR Studies, Molecular Similarity Analysis and in Virtual Screening. — Cambridge : Chemoinformatics Approaches to Virtual Screening RSC Publisher, 2008. — P. 1–43.
14. Калач А. В., Сорокина Ю. Н., Карташова Т. В., Спичкин Ю. В. Оценка пожароопасных свойств органических соединений с применением дескрипторов // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 2. — С. 18–22.
15. Калач А. В., Сорокина Ю. Н., Карташова Т. В., Облиенко М. В. Прогнозирование пожароопасных свойств органических соединений с применением дескрипторов // Пожарная безопасность. — 2013. — № 1. — С. 70–74.
16. Калач А. В., Сорокина Ю. Н., Карташова Т. В., Спичкин Ю. В. Применение метода расчета дескрипторов при прогнозировании температуры вспышки органических соединений // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. — 2012. — № 4. — С. 136–141.

Материал поступил в редакцию 23 июля 2013 г.

English

EFFECT OF STRUCTURE OF THE MOLECULE ON PARAMETERS OF FIRE HAZARD OF NITROGEN-CONTAINING ORGANIC SUBSTANCES

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)

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, Associate Professor, Vice-Rector on Scientific Work of Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: a_kalach@mail.ru)

KALACH E. V., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Physics Department, Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation)

PISHCHALNIKOV A. V., Head of Laboratory of Forensic Expert Establishment of Federal Fire Service "Testing Fire Laboratory for the Perm Region" (Bolshevistskaya St., 53a, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail address: rina04@rambler.ru)

ABSTRACT

A method of calculating of the descriptors is one of the promising methods for predicting the fire danger of substances.

The purpose of this paper is using the method of calculating the descriptors in predicting the flash point of aromatic amines and nitrocompounds. Choice of the representatives of these classes of substances is due to the widespread use of these compounds in the industry. The values of descriptors that characterize the structural features of molecule — topological and geometric indexes for selected organic compounds have calculated. The calculated in the work descriptors found to be sensitive to structural of isomerism and to the nature of the substituents in the molecule. The dependence of fire danger, in particular the flash point, on the structure of the molecule of nitrogen-containing organic compounds is established.

On the basis of studies the approximation equations for calculating the flash point of aromatic amines and nitrocompounds are obtained. The approbation of these equations for predict the flash point of substances that are not included in the sampling on the example of aromatic amines was conducted. The average absolute error in the calculation of flash point does not exceed 10 °C.

Keywords: fire hazard properties; flash-point; descriptors; aromatic amines; nitrocompounds.

REFERENCES

1. 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]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 21–35.
2. Shebeko Yu. N., Navtsenya V. Yu., Kopylov S. N. et al. Raschet osnovnykh pokazateley pozharoopasnosti veshchestv i materialov: rukovodstvo [The calculation of basic indicators of fire risk substances and materials: a guide]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection, 2002. 77 p.
3. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvopasnost 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.
4. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvopasnost 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 II, 774 p.
5. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. Chast 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.
6. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskim stroeniyem. Chast 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.
7. Zefirov N. S., Palyulin V. A. Fragmental Approach in QSPR. *J. Chem. Inf. Comput. Sci.*, 2002, vol. 42, no. 5, pp. 1112–1122.
8. Japertas P., Didziapetris R., Petrauskas A. Fragmental methods in the design of new compounds. Application of the Advanced Algorithm Builder. *Quant. Struct.-Act. Relat.*, 2002, vol. 21, no. 1, pp. 23–37.
9. Artemenko N. V., Baskin I. I., Palyulin V. A., Zefirov N. S. Iskusstvennyye neyronnyye seti i fragmentnyy podkhod v prognozirovaniy fiziko-khimicheskikh svoystv organicheskikh soyedineniy [Artificial neural network and fragment approach in predicting physic-chemical properties of organic compounds] // *Izv. RAN, Ser. Khim. — Russian Chemical Bulletin*, 2003, no. 1, pp. 19–28.
10. Merlot C., Domine D., Church D. J. Fragment analysis in small molecule discovery. *Curr. Opin. Drug Discov. Devel.*, 2002, vol. 5, no. 3, pp. 391–399.
11. Varnek A., Fourches D., Hoonakker F., Solov'ev V. P. Substructural fragments: an universal language to encode reactions, molecular and supramolecular structures. *J. Comput. Aided Mol. Des.*, 2005, vol. 19, no. 9–10, pp. 693–703.
12. Baskin I., Varnek A. Building a chemical space based on fragment descriptors. *Comb. Chem. High Throughput Screening*, 2008, vol. 11, no. 8, pp. 661–668.
13. Baskin I., Varnek A., Tropsha A. (eds). *Fragment Descriptors in SAR/QSAR/QSPR Studies, Molecular Similarity Analysis and in Virtual Screening*. Cambridge, Chemoinformatics Approaches to Virtual Screening RSC Publisher, 2008, pp. 1–43.
14. Kalach A. V., Sorokina Yu. N., Kartashova T. V., Spichkin Yu. V. Otsenka pozharoopasnykh svoystv organicheskikh soyedineniy s primeneniye deskriptorov [Evaluation of the fire hazards properties of organic compounds by using descriptors]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 18–22.
15. Kalach A. V., Kartashova T. V., Sorokina Yu. N., Oblienko M. V. Prognozirovaniye pozharoopasnykh svoystv organicheskikh soyedineniy s primeneniye deskriptorov [Prediction of fire hazard properties organic compounds using descriptors]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2013, no. 1, pp. 70–74.
16. Kalach A. V., Sorokina Yu. N., Kartashova T. V., Spichkin Yu. V. Primeneniye metoda rascheta deskriptorov pri prognozirovaniy temperatury vspyshki organicheskikh soyedineniy [Application of the method of calculating of descriptors in predicting the flash point of organic compounds]. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitelstvo i arkhitektura — Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 2012, no. 4, pp. 136–141.

В. Ф. КОЛПАКОВ, канд. техн. наук, доцент,
ГБОУ "Московский городской психолого-педагогический университет"
(Россия, 127051, г. Москва, ул. Сретенка, 29; e-mail: v.kolpakov53@mail.ru)

УДК 614.841.42

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ЛИКВИДАЦИЕЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Рассматривается один из подходов синтеза оптимального (в некотором смысле) управления тушением лесного пожара, базирующийся на использовании метода обратных задач динамики. Показано, что данный метод, в свою очередь, предполагает наличие достоверной динамической модели развития лесного пожара. В работе была использована математическая модель, выходной координатой которой является площадь пожара, а управлением — темпы создания заградительной полосы. Показано, что результаты исследования могут быть использованы для оценки пожарной обстановки и выдачи адекватных рекомендаций по привлечению сил и средств для реализации необходимых темпов локализации пожара.

Ключевые слова: математическое моделирование; лесные пожары; динамическая модель; метод обратных задач динамики; алгоритм управления.

Введение

Современные исследования показывают, что тяжелые последствия от пожаров во многом обусловлены недостаточностью ресурсов противопожарной службы, обеспечивающей пожаротушение; большим радиусом обслуживания в районах выезда подразделений Государственной противопожарной службы и другими факторами объективного и субъективного характера.

Успешное решение этих проблем возможно на основе широкого использования современных методов математического моделирования и прогнозирования. Органы власти нуждаются в информационной поддержке принятия решений, основанной на получении, обработке и представлении многофакторных данных по различным показателям административно-территориальных единиц. В настоящее время налицо нехватка адекватных моделей и методов обработки данных и отсутствие информационного обеспечения принятия решения в сфере пожарной безопасности.

Все вышеотмеченное предопределяет необходимость поиска новых подходов к совершенствованию методов управления пожарной безопасностью, учитывающих различные показатели и состояние обстановки с пожарами. Недостаток ресурсного потенциала вызывает необходимость более эффективного использования выделяемых органами власти средств.

Действенным инструментом решения проблемы пожарной безопасности различных административно-территориальных единиц являются методы математического моделирования и прогнозирования с последующим применением полученных результа-

тов при разработке соответствующих управленческих решений. Вместе с тем к настоящему времени как научные, так и практические аспекты использования методов математического моделирования и оптимального управления, применения современных информационных технологий в сфере управления и мониторинга пожарной обстановки проработаны в недостаточной степени. Поэтому разработка моделей, методов и средств информационной поддержки принятия решений в сфере управления и мониторинга пожарной обстановки является актуальной.

В работе рассматривается один из подходов синтеза оптимального управления при ликвидации лесного пожара, использующего реальные и модельные параметры развития пожарной ситуации.

В теории оптимального управления динамическими системами существует два основных направления.

Первое направление объединяет вариационные методы, принцип максимума и динамическое программирование. Здесь решение задачи синтеза оптимального управления, удовлетворяющего заданному критерию качества, связано с необходимостью решения краевой задачи. Однако ряд прикладных задач управления динамическими системами не может быть сведен к оптимизации определенного функционала качества. Прежде всего это относится к объектам, параметры которых имеют значительные неопределенности. Кроме того, в последнее время в связи с усложнением объектов управления появилось много задач, в которых требуется сначала рассчитать желаемый закон изменения управляемого процесса (программное движение), а затем — по-

строить закон управления, обеспечивающий точную или приближенную реализацию этого процесса. Решению указанных задач посвящено другое направление оптимального управления, базирующееся на так называемых обратных задачах динамики [1–3].

Работа посвящена выбору оптимального (в некотором смысле) управления тушения лесного пожара с использованием метода обратных задач динамики. Рассмотрим основные положения метода.

Метод обратных задач динамики

Прямая и обратная задачи динамики

Пусть объект управления определен дифференциальным оператором в форме Коши

$$y'(t) = f(y, u, t), \quad (1)$$

где $y(t) = [y_1(t), \dots, y_n(t)]^T$ — вектор координат состояния;

$u(t) = [u_1(t), \dots, u_m(t)]^T$ — вектор управления.

Прямая задача. Известна математическая модель (1) движения системы и ее состояние в начальный момент времени:

$$y(0) = y_0. \quad (2)$$

Управление $u(t)$ задано. Требуется найти траекторию движения системы $y(t)$, $t \geq 0$.

Решение сводится к интегрированию дифференциального уравнения (1) с начальными условиями (2). Задача легко решается или аналитически, или численно с помощью компьютерных технологий.

Обратная задача. Известна математическая модель (1) с начальными условиями (2). Задана желаемая траектория движения системы $y_{\text{ж}}(t)$, $t \geq 0$.

Необходимо найти такое управление (желаемое) $u_{\text{ж}}(t)$, чтобы обеспечить равенство $y(t) = y_{\text{ж}}(t)$. Другими словами, в математическом отношении содержание обратной задачи динамики составляет синтез алгоритма управления, при котором управляемая система обладает требуемыми динамическими характеристиками.

Синтез алгоритмов управления в форме обратных связей

Управление линейным объектом. Рассмотрим метод обратных задач динамики применительно к динамическому объекту, описываемому дифференциальным уравнением первого порядка

$$y'(t) + a_0 y(t) = b_0 u(t). \quad (3)$$

Требуется найти такое управление $u_{\text{ж}}(t)$, которое обеспечивает изменение выходной координаты $y(t)$ (формула (3)) по заданной траектории $y_{\text{ж}}(t)$. При этом предполагается, что выходная координата $y(t)$ измеряется.

Так как по разным причинам [1–3] добиться абсолютного совпадения траекторий $y(t)$ и $y_{\text{ж}}(t)$ не-

возможно, эту задачу будем решать из условия стремления к нулю ошибки управления $F(y(t), y_{\text{ж}}(t))$ при неограниченном увеличении времени. Причем характер “списания” ошибки определяется динамическими свойствами объекта, т. е. если объект описывается уравнением первого порядка, то и изменение $F(y(t), y_{\text{ж}}(t))$ должно происходить по такой же траектории:

$$F'(y, y_{\text{ж}}) + \lambda F(y, y_{\text{ж}}) = 0, \quad (4)$$

где λ — коэффициент, определяющий заданную динамику приближения $y(t)$ к $y_{\text{ж}}(t)$;

$$F(y, y_{\text{ж}}) = y(t) - y_{\text{ж}}(t).$$

Траектория $F(y(t), y_{\text{ж}}(t))$ в соответствии с (4) будет иметь экспоненциальный вид:

$$F(t) = c e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

где c — параметр, определяемый из условия $F(0)$; в нашем случае $c = y(0) - y_{\text{ж}}(0)$.

Заданную управляющую функцию $u_{\text{ж}}(t)$, обеспечивающую траекторию (4), можно получить, подставив (3) в (4):

$$b_0 u_{\text{ж}}(t) - a_0 y(t) - y'_{\text{ж}}(t) + \lambda(y(t) - y_{\text{ж}}(t)) = 0, \quad (6)$$

откуда

$$u_{\text{ж}}(t) = b_0^{-1} (y'_{\text{ж}}(t) + \lambda y_{\text{ж}}(t) + (a_0 - \lambda)y(t)), \quad (7)$$

где a_0, b_0 — известные параметры модели управляемого объекта (3).

В практических задачах, как правило, $y'_{\text{ж}}(t) = 0$. Тогда желаемое управление

$$u_{\text{ж}}(t) = b_0^{-1} (\lambda y_{\text{ж}}(t) + (a_0 - \lambda)y(t)) \quad (8)$$

обеспечит траекторию управляемого процесса в виде

$$y'(t) + \lambda y(t) = \lambda y_{\text{ж}}(t). \quad (9)$$

Управление нелинейным объектом. Важная особенность рассматриваемого подхода состоит в том, что для синтеза алгоритмов управления могут использоваться полные нелинейные уравнения движения без их линеаризации. Полученные при этом алгоритмы также являются нелинейными. Их структура адекватна структуре математических моделей управляемых процессов, а параметры алгоритмов определяются параметрами математических моделей назначенных траекторий движения.

Пусть модель объекта управления описывается нелинейным дифференциальным уравнением первого порядка

$$y'(t) = f(y, u, t). \quad (10)$$

Эталонное движение задается линейным уравнением (4). Тогда для его реализации необходимо решить уравнение

$$f(y, u, t) - y'_{\text{ж}}(t) + \lambda(y(t) - y_{\text{ж}}(t)) = 0 \quad (11)$$

относительно $u(t)$.

Если это возможно осуществить аналитически, то получим алгоритм управления в явном виде:

$$u_{\text{ж}}(t) = \varphi(y(t), y'_{\text{ж}}(t), y_{\text{ж}}(t)). \quad (12)$$

Если аналитическое решение найти не удастся, то для нахождения $u_{\text{ж}}(t)$ к нелинейному уравнению (12) можно применить известные градиентные численные методы, имеющие готовые конструкции, например, в MathCAD [6].

Повышение адаптивных свойств управляющей функции

Эффективность управления, полученного на основе обратных задач динамики (8) и (12), определяется в основном достоверностью математических моделей. К сожалению, математические модели всегда отличаются от их истинных операторов. В этом случае в результате управления могут возникать ошибки управления как в переходной стадии, так и в установившемся режиме. Для решения этой проблемы можно было бы использовать идентификацию параметров модели в реальном времени, что представляет большие трудности, особенно для слабоструктурированных динамических систем. Другим путем является разработка более грубой (робастной) системы управления, обеспечивающей движение системы не по эталонной траектории, а в ее окрестности.

Рассмотрим синтез робастного алгоритма управления на примере объекта, описываемого дифференциальным уравнением второго порядка:

$$y''(t) + a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_0 u(t) \quad (13)$$

с известным начальным состоянием y_0, y'_0 .

Формулировка задачи. Необходимо синтезировать такой алгоритм управления $u = u(y, y')$, при котором управляемый объект переходит из произвольного начального состояния в окрестность стационарного состояния

$$y_{\text{ж}} = \text{const}, \quad y'_{\text{ж}} = 0 \quad (14)$$

и остается в этой окрестности бесконечно долго. При этом требуется, чтобы переходный процесс $y(t)$ с заданной степенью приближения следовал за переходным процессом эталонной модели:

$$F''(t) + \lambda_1 F'(t) + \lambda_0 F(t) = 0. \quad (15)$$

Либо, учитывая (13) и обозначив траекторию эталонной модели через $x(t)$, получим уравнение эталонной траектории в виде

$$x''(t) + \lambda_1 x'(t) + \lambda_0 x(t) = \lambda_0 y_{\text{ж}}(t) \quad (16)$$

с начальными условиями $x_0 = y_0, x'_0 = y'_0$.

Физический смысл сформулированной задачи заключается в синтезе такого управления, при котором изменение состояния исходной системы удовлетворяло бы условию

$$|x(t) - y(t)| \leq \varepsilon, \quad t \geq 0, \quad (17)$$

характеризующему степень приближения процесса $y(t) \rightarrow y_{\text{ж}}(t)$ в проектируемой системе к эталонному процессу $x(t) \rightarrow y_{\text{ж}}(t)$ с заданной точностью ε .

Так как в силу вышеназванных причин в процессе управления полное соответствие $y(t)$ с $x(t)$, а следовательно, и их производных, невозможно, то структуру и параметры алгоритма управления будем определять из условия минимума функционала:

$$J(u) = 0,5(x''(t) - y''(t, u))^2, \quad t \geq 0. \quad (18)$$

Для придания системе грубых свойств (нахождение в окрестности экстремума-минимума) необходимо желаемую управляющую функцию $u(t)$ определять из уравнения

$$\frac{du(t)}{dt} = \mu \frac{\partial J(u)}{\partial u}, \quad \mu = \text{const}, \quad (19)$$

которое соответствует градиентной схеме поиска экстремума.

С учетом (13)

$$\frac{\partial J(u)}{\partial u} = -b_0(x''(t) - y''(t)). \quad (20)$$

Тогда

$$\frac{du}{dt} = k(x''(t) - y''(t)), \quad (21)$$

где k — коэффициент усиления при управлении; $k = -b_0 \mu$.

С учетом (16) и концепции обратных задач динамики ($x'(t) = y'(t)$, $x(t) = y(t)$) имеем уравнение

$$x''(t) = \lambda_0(y_{\text{ж}}(t) - y(t)) - \lambda_1 y'(t). \quad (22)$$

Подставив его в (21), получим окончательное уравнение для управляющей силы:

$$\frac{du}{dt} = k(\lambda_0(y_{\text{ж}}(t) - y(t)) - \lambda_1 y'(t) - y''(t)). \quad (23)$$

Особенностью алгоритма (23) является то, что для его реализации необходимо иметь информацию (получаемую измерением) о состоянии координаты $y(t)$ и ее обеих производных.

Для коэффициента усиления k должно выполняться правило знаков [3]:

$$\text{sign}(k) = \text{sign}(b_0).$$

Кроме того, для устойчивости процесса управления необходимо, чтобы быстродействие контура управления, задаваемое коэффициентом k , было существенно выше быстродействия эталонной модели, определяемого коэффициентами λ_0, λ_1 [3].

Синтез алгоритма управления тушением лесного пожара с использованием метода обратных задач динамики

В [4, 5] были рассмотрены и обоснованы математические модели лесных пожаров. Для решения

задачи синтеза оптимального алгоритма управления воспользуемся моделью вида [4]:

$$S'(t) = \alpha S^{1/2}(t) - ku(t), \quad (24)$$

где α — интенсивность распространения пожара;
 $S(t)$ — площадь возгорания;
 $u(t)$ — управление (длина заградительной полосы).

В соответствии с методом обратных задач динамики естественным является выбор эталонной траектории “списания” ошибки управления:

$$F'(t) + \lambda F(t) = 0, \quad (25)$$

где $F(t) = S(t) - S_{\text{ж}}(t)$.

Однако специфика задачи такова, что величина $S_{\text{ж}}(t)$ неизвестна. Из здравого смысла следует, что чем меньше желаемая площадь пожара $S_{\text{ж}}(t)$, тем лучше, но в силу того, что она неизвестна, назначить желаемую траекторию (25) мы не можем.

Здесь предлагается в качестве $F(t)$ использовать функцию

$$F(t) = S'(t) - S'_{\text{ж}}(t), \quad (26)$$

в которой желаемая интенсивность распространения пожара известна: $S'_{\text{ж}} = \text{const} = 0$.

В соответствии с (26) эталонная траектория будет иметь вид:

$$S''(t) + \lambda S'(t) = 0. \quad (27)$$

Для реализации (27) про дифференцируем (24):

$$S''(t) = 0,5\alpha S^{-1/2}(t) S'(t) - ku'(t). \quad (28)$$

Подставив выражение (24) и (28) в (27), получим:

$$0,5\alpha^2 - 0,5k S^{-1/2}(t) u(t) - ku'(t) + \lambda \alpha S^{1/2}(t) - \lambda ku(t) = 0.$$

Отсюда найдем уравнение для вычисления управляющей силы $u(t)$:

$$u'(t) + \beta(t) u(t) = q(t), \quad (29)$$

где $\beta(t) = \lambda + \alpha(t)/(2S^{1/2}(t))$;

$$q(t) = \alpha(0,5\alpha + \lambda S^{1/2}(t))/k.$$

Реализация (29) может быть осуществлена на компьютере с использованием разностной схемы:

$$u(t_{i+1}) = u(t_i) + (-\beta(t_i) u(t_i) + q(t_i)) \Delta t, \quad (30)$$

где Δt — шаг интегрирования; $\Delta t = t_{i+1} - t_i$.

Эффективность управления с использованием алгоритма (30) была проверена с помощью численного моделирования в среде MathCAD. Результаты моделирования управления тушением пожара (на примере пожара в Иркутской обл., 2007 г.) представлены на рис. 1 и 2.

В эксперименте желаемая (эталонная) интенсивность распространения пожара формировалась в соответствии с уравнением (27) при заданном значении коэффициента λ (рис. 3). В примере было принято, что $\lambda = 0,4$. Это соответствует заданному

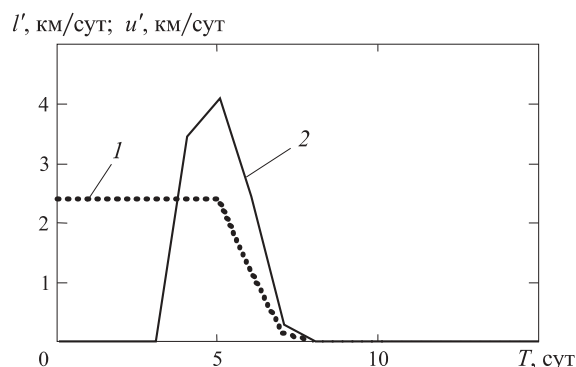


Рис. 1. Темпы изменения периметра площади пожара l' (1) и темпы создания заградительной полосы u' (2)

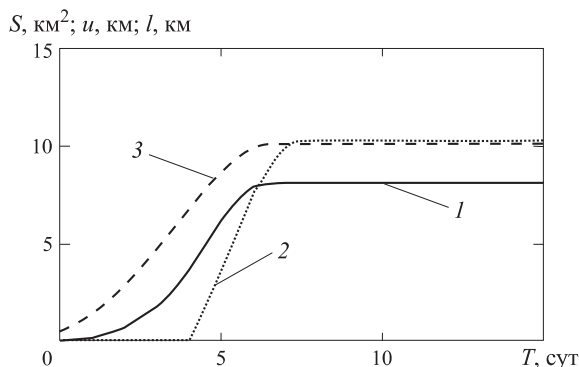


Рис. 2. Динамические характеристики ликвидации лесного пожара: 1 — площадь пожара S ; 2 — длина заградительной полосы u ; 3 — длина периметра площади пожара l

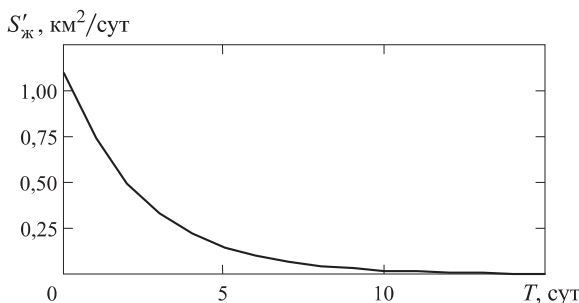


Рис. 3. Заданная интенсивность распространения пожара

времени тушения пожара, равному 5–6 сут при начальной интенсивности распространения пожара $S'(0) = 1,1$ км²/сут, которая соответствует реальной на момент начала тушения.

Из рис. 1 видно, что для решения поставленной задачи максимальная интенсивность работ по созданию заградительной полосы $u'_{\text{ж max}}(t)$ должна составлять 4,2 км/сут.

В случае ограничений на управление $u'(t) \leq u'_{\text{огр}}$ характер тушения пожара, естественно, будет иным. Так, например, при возможности обеспечить максимальный темп создания заградительной полосы $u' = 3$ км/сут пожар будет ликвидирован за 7 сут в отличие от планируемого срока (5–6 сут), и пло-

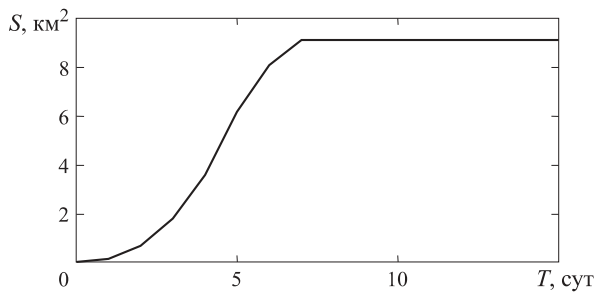


Рис. 4. Динамика тушения пожара при ограничении на управление

щадь выгорания S при этом увеличится до 9 км^2 (рис. 4).

Далее проведем исследования адаптивных свойств алгоритма управления (30).

На рис. 5,а представлены переходные процессы, при которых интенсивность реального пожара α была ниже модельной на 50 %, а на рис. 5,б — выше модельной на 50 %.

Из рис. 5 видно, что алгоритм управления чувствителен к изменению параметров пожара (различие относительно модели) и характер процесса тушения отличается от ситуации, в которой модель “точно” описывает реальный процесс (см. рис. 1 и 2). В случае когда реальный темп распространения пожара меньше заявленного в модели (см. рис. 5,а), управление тушением будет даже более эффективным. Это и понятно: здесь управление ориентировано на худший вариант развития пожара по сравнению с ре-

альной ситуацией. Хуже обстоит дело, когда реальный темп пожара будет больше модельного (см. рис. 5,б). Из рис. 5,б видно, что в этом случае управление становится неэффективным и “не справляется” с тушением пожара, т. е. рекомендуемые темпы создания заградительной полосы будут ниже темпа распространения реального пожара.

Для повышения адаптивных свойств алгоритма управления применим технологию сочетания метода обратных задач динамики с минимизацией локального функционала качества.

Функционал качества (18) для данной задачи выберем в виде

$$J(u) = 0,5(S'_3(t) - S'(t))^2, \quad (31)$$

где $S'_3(t)$ — эталонная траектория изменения площади пожара, определяемая из уравнения

$$S''_3(t) + \lambda S'_3(t) = 0. \quad (32)$$

Тогда в соответствии с (19) и (20) получим:

$$\frac{du(t)}{dt} = \mu \frac{\partial J(u)}{\partial u}; \quad (33)$$

$$\frac{\partial J(u)}{\partial u} = k(S'_3(t) - S'(t)). \quad (34)$$

Объединим (33) и (34):

$$\frac{du(t)}{dt} = k^*(S'_3(t) - S'(t)), \quad (35)$$

где $k^* = -k\mu$.

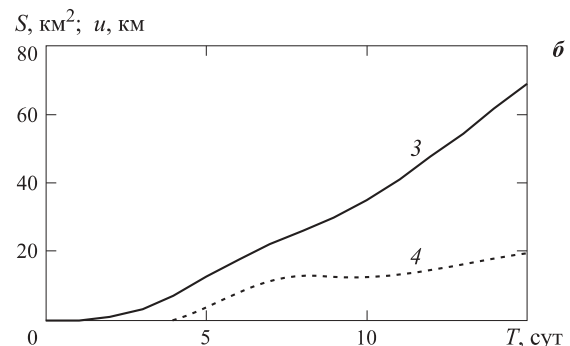
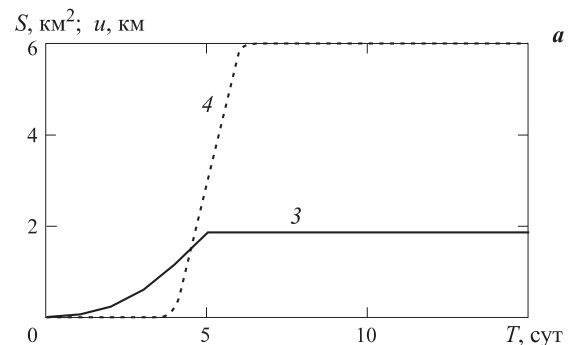
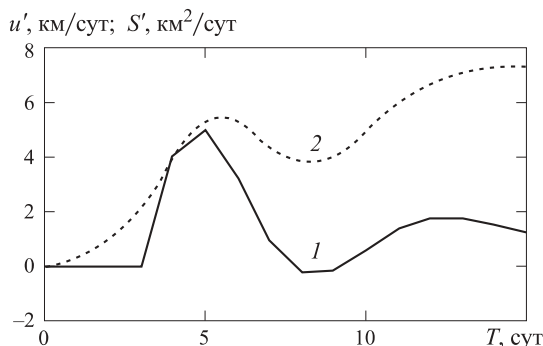
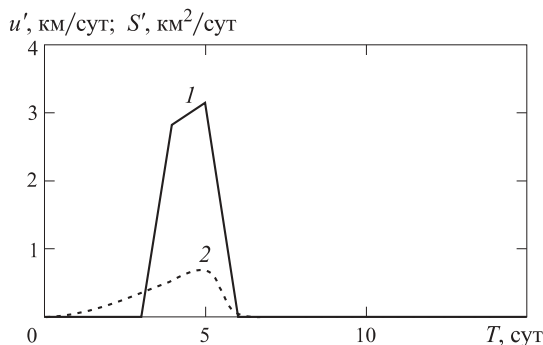


Рис. 5. Динамические характеристики тушения пожара при интенсивности реального пожара ниже (а) и выше (б) модельной: 1 — темп создания заградительной полосы (управление) u' ; 2 — темп изменения площади пожара S' ; 3 — площадь пожара S ; 4 — длина заградительной полосы u

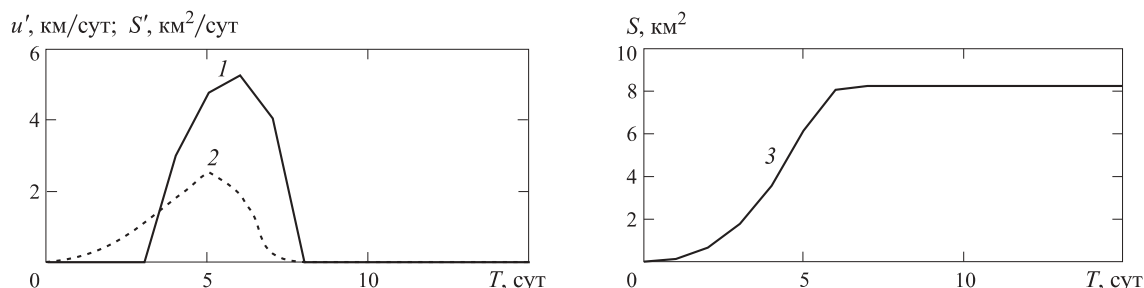


Рис. 6. Динамические характеристики тушения пожара при реализации адаптивного алгоритма управления: 1 — темп создания заградительной полосы (управление) u' ; 2 — темп изменения площади пожара S' ; 3 — площадь пожара S

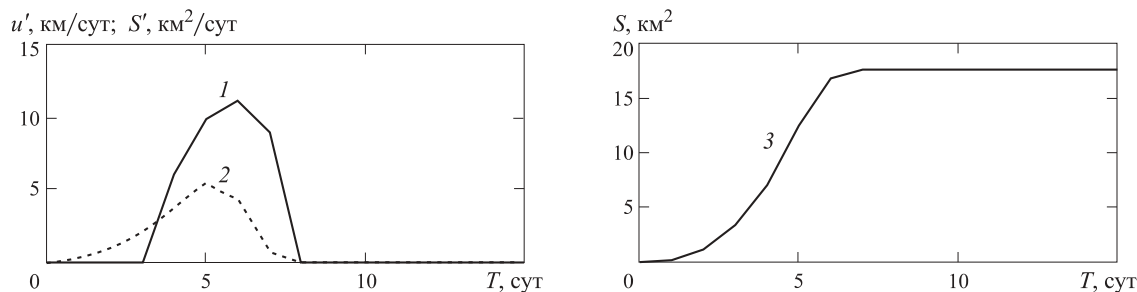


Рис. 7. Динамические характеристики адаптивного управления тушением пожара при интенсивности реального пожара выше модельной: 1 — темп создания заградительной полосы (управление) u' ; 2 — темп изменения площади пожара S' ; 3 — площадь пожара S

Значение $S'_3(t)$ может быть найдено из уравнения (32). Для этого его необходимо проинтегрировать и согласно концепции обратных задач динамики сделать замену — $S_3(t)$ на $S(t)$:

$$S'_3(t) = -\lambda(S(t) - S_0), \quad (36)$$

где S_0 — площадь, охваченная пожаром на момент начала его тушения.

Итак, окончательный алгоритм вычисления управления примет вид:

$$\frac{du(t)}{dt} = k^* (-\lambda S(t) - S'(t)). \quad (37)$$

Из (37) следует, что для реализации “оптимального” управления необходимо измерять текущую площадь пожара и скорость ее нарастания.

Результаты численного моделирования ликвидации пожара при обеспечении темпа работ по созданию заградительной полосы в виде алгоритма (37) представлены на рис. 6.

Видно, что если обеспечить темпы создания заградительной полосы u' в соответствии с рис. 6, то процесс тушения пожара будет достаточно эффективным. Управление в виде, представленном на рис. 6, обеспечивает достаточно эффективный процесс тушения пожара: локализованная площадь сгоревшего леса составляет $8,2 \text{ км}^2$ при максимальном темпе работ по созданию заградительной полосы 5 км/сут .

Характеристики процесса тушения пожара при увеличении темпа его распространения на 50 % по сравнению с модельным представлены на рис. 7.

Из рис. 7 видно, что процесс тушения пожара носит устойчивый характер по сравнению с алгоритмом управления (30) (см. рис. 5,б). При этом обеспечивается заданная интенсивность тушения пожара, определяемая параметром λ и соответствующая заданному времени тушения (5–6 сут). Однако для ликвидации такого пожара требуется значительное управляющее воздействие, максимальное значение которого равно 11 км/сут ; при этом итоговая площадь сгоревшего леса составит $17,5 \text{ км}^2$.

Заключение

В заключение хотелось бы высказать практические рекомендации по использованию алгоритмов управления вида (30) и (37). Алгоритм (30) предпочтительнее использовать на начальной стадии тушения пожара, когда необходимо осуществить предварительный прогноз тенденции развития пожара и необходимых затрат сил и средств для его локализации в заданные сроки. Причем следует отметить, что эти прогнозы носят достаточно приблизительный характер. Алгоритм же (37), адаптированный к изменению параметров пожара, желательно использовать в качестве рекомендаций для определения заданных темпов работ по созданию заградительной полосы в ходе тушения в реальном времени. Как видно из (37), интенсивность работ (управление $u'(t)$) будет являться функцией площади пожара $S(t)$ и его скорости изменения $S'(t)$. Естественно, от точности измерения этих параметров пожара будет зависеть точность и эффективность управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров Б. Н., Крутько П. Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Линейные модели // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. — 1980. — № 4. — С. 19–36.
2. Петров Б. Н., Крутько П. Д. Обратные задачи динамики управляемых систем. Нелинейные модели // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. — 1980. — № 5. — С. 21–33.
3. Крутько П. Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. Цикл лекций : учебное пособие для вузов. — М. : Машиностроение, 2004. — 573 с.
4. Колпаков В. Ф. Один из подходов моделирования лесных пожаров с целью повышения эффективности их ликвидации // Безопасность жизнедеятельности — 2011. — № 4. — С. 43–47.
5. Колпаков В. Ф. Параметрическая идентификация модели лесных пожаров // Безопасность жизнедеятельности — 2012. — № 5. — С. 39–44.
6. Охорзин В. А. Прикладная математика в системе MATHCAD : учебное пособие. Изд. 2-е, испр. и доп. — СПб. : Изд-во “Лань”, 2008. — 348 с.

Материал поступил в редакцию 28 мая 2013 г.

English

SYNTHESIS OF THE ADAPTIVE CONTROL ALGORITHM LIQUIDATION OF FOREST FIRES

KOLPAKOV V. F., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Moscow City University of Psychology and Education (Sretenka St., 29, Moscow,
127051, Russian Federation; e-mail address: v.kolpakov53@mail.ru)

ABSTRACT

The article is devoted to the use of modern methods of mathematical modeling for forecasting and decision-making in extinguishing forest fires. One of the best approaches synthesis, in a sense, management, using real and model parameters of a fire is considered. As the tool is selected the method of inverse problems of dynamics, which is based on the use of reliable mathematical models of the control object. The main mathematical equations of this method in its classical form and its possible adjustments to improve the adaptive properties are summarized. Model the spread of fire was represented by a non-linear differential equation, the output coordinate, which is the area covered by the fire, and the input (control) — the pace of building barrage strip. The paper developed an algorithm extinguish a forest fire in a barrage of recommended rate of establishment of the band at various stages of extinguishing it. The effectiveness of the algorithm has been confirmed by numerical simulations.

Keywords: mathematical modeling; forest fires; dynamic model; method of inverse dynamics; control algorithm.

REFERENCES

1. Petrov B. N., Krutko P. D. Obratniyye zadachi dinamiki upravlyayemykh sistem. Lineynyye modeli [Inverse problems of the dynamics of control systems. Linear models]. *Izv. AN SSSR. Tekhn. kibernetika* — *News Academy of Sciences USSR. Tech. Cybernetics*, 1980, no. 4, pp. 19–36.
2. Petrov B. N., Krutko P. D. Obratniyye zadachi dinamiki upravlyayemykh sistem. Nelineynyye modeli [Inverse problems of the dynamics of control systems. Nonlinear models]. *Izv. AN SSSR. Tekhn. kibernetika* — *News Academy of Sciences USSR. Tech. Cybernetics*, 1980, no. 5, pp. 21–33.
3. Krutko P. D. Obratniyye zadachi dinamiki v teorii avtomaticheskogo upravleniya. Tsikl lektsiy: uchebnoye posobiye dlya vuzov [The inverse dynamics problem in control theory. Lecture series. A manual for schools]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2004. 573 p.
4. Kolpakov V. F. Odin iz podkhodov modelirovaniya lesnykh pozharov s tselyu povysheniya effektivnosti ikh likvidatsii [One approach to modeling of forest fires in order to improve the efficiency of their elimination]. *Bezopasnost zhiznedeятельности* — *Life Safety*, 2011, no. 4, pp. 43–47.
5. Kolpakov V. F. Parametricheskaya identifikatsiya modeli lesnykh pozharov [Parametric identification of the model forest fires]. *Bezopasnost zhiznedeятельности* — *Life Safety*, 2012, no. 5, pp. 39–44.
6. Okhorzin V. A. Prikladnaya matematika v sisteme MATHCAD: uchebnoye posobiye. Izd. 2-e [Applied mathematics for the MATHCAD. Textbook. 2nd ed.]. Saint Petersburg, Lan Publ., 2008. 348 p.

В. А. ГОРЕВ, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; e-mail: kafedrapb@yandex.ru)

Г. М. МЕДВЕДЕВ, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; e-mail: pogrisk@gmail.com)

УДК 614.841.41;614.833.4;544.45

КИНЕТИЧЕСКИЕ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ ВОДОРОДА

Рассмотрена возможность самовоспламенения водорода при его утечке в воздух из систем с высоким давлением. Использована кинематическая схема из 21 элементарного акта. Составлены кинетические уравнения для восьми реагентов: H , OH , O , HO_2 , H_2O_2 , H_2 , O_2 , H_2O ; с использованием уравнения теплового баланса определены изменения температуры в системе. В результате решений найдены периоды индукции для условий воспламенения водородовоздушной смеси ударной волной и условия воспламенения на контактном разрыве при аварийном истечении водорода из системы с высоким давлением в воздух.

Ключевые слова: цепной взрыв; ударная волна; газодинамический разрыв; период индукции; скорость реакции; обрыв цепи; разветвление цепи; воспламенение водорода.

Аварийные взрывы водорода нередко происходят в химической, нефтехимической, атомной и ракетной отраслях. Специалисты по взрывобезопасности или промышленной безопасности при расследовании причин взрыва анализируют процесс возникновения взрыва с позиций наличия триады: горючего (водород), окислителя (воздух), источника зажигания (искра, пламя и т. д.). В настоящей работе принята попытка определить параметры газодинамических воздействий, приводящих к взрыву водорода.

Вопросы самовоспламенения водорода в воздухе до сих пор остаются актуальными с точки зрения обеспечения взрывобезопасности. Аварийные взрывы на производстве, возникающие при выбросе водорода в воздухе [1, 2], переход горения в детонацию при попытке сброса давления через вскрывающиеся проемы [3] требуют изучения и объяснения причин их возникновения.

Так, при расследовании причин взрыва при выбросе водорода, находящегося под высоким давлением, часто делается предположение о сильном нагревании металлических элементов при их деформации во время разрушения оборудования. При анализе взрывов водорода, причиной которых являлась разгерметизация оборудования в производстве синтеза аммиака (при давлении 300–800 атм), экспертам приходится искать источник зажигания.

В данной работе инициирование поджигания или взрыва водорода объясняется его самовоспламенением в воздухе при выполнении определенных условий.

Условия самовоспламенения водородных смесей с кислородом представляются в виде Z -кривой на плоскости (P, T) [4, 5] (рис. 1, а).

При значениях (P, T) , расположенных справа от кривой $ABCD$, происходит взрыв, которому предшествует период индукции, т. е. задержка во времени между моментом приведения смеси в состояние с параметрами (P, T) и взрывом.

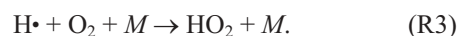
Кривая AB соответствует первому пределу воспламенения. Условия на данной кривой определяются равенством скоростей реакций разветвления цепи



и реакций обрыва цепи из-за выхода активной частицы из зоны реакции за счет диффузии или конвекции:



Кроме того, обрыв цепи происходит из-за образования в объеме системы вместо активной частицы $H \cdot$ пассивной (долго не вступающей в реакцию) частицы HO_2 :



В результате условие на первом пределе выглядит как:

$$2k_1 = k_2 / [O_2] + k_3 [M], \quad (1)$$

где k_1, k_2, k_3 — константы скоростей реакций (R1), (R2) и (R3) соответственно.

Константа k_2 может определяться либо скоростью диффузии или конвекции частицы $H \cdot$ к границе сис-

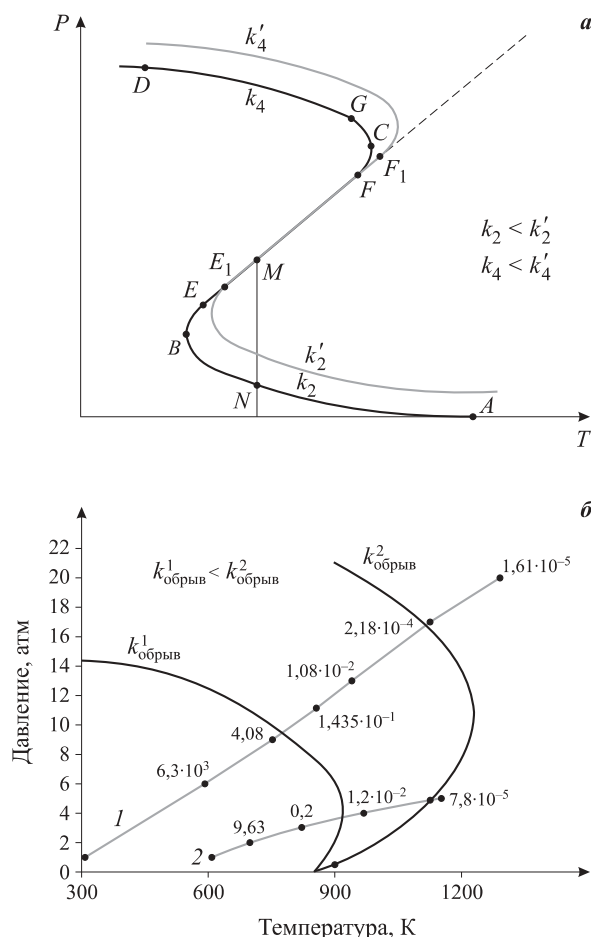


Рис. 1. Условия самовоспламенения смеси $H_2 + 0,5O_2$: 1 — $\tau_{\text{инд}}$ при $T_0 = 300$ К; 2 — $\tau_{\text{инд}}$ при $T_0 = 600$ К

темы, либо скоростью химической реакции гибели частицы $H\cdot$ на границе системы. Левая часть уравнения (1) не зависит от давления. В правой части первый член уменьшается, а второй увеличивается по мере роста давления, так как концентрации $[O_2]$ и третьих частиц $[M]$ растут с повышением давления. При низких давлениях тройные столкновения редки, и условие (1) сводится к виду:

$$2k_1 = k_2 / [O_2]. \quad (2)$$

В случае если механизм гибели определяется диффузией, то $k_2 \sim 1/(PL_x^2)$ (где L_x — характерный размер системы).

По мере роста давления в системе происходит переход от точки N к точке M (см. рис. 1, а), частота тройных столкновений возрастает, и уравнение (1) принимает вид:

$$2k_1 = k_3 [M]. \quad (3)$$

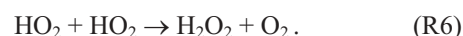
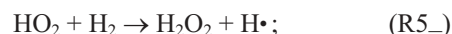
Выражение (3) определяет условие второго предела, т. е. на втором пределе гибель активных частиц обусловлена объемной реакцией (R3). Продолжение условий на втором пределе в область взрывных реакций соответствует пунктирной линии на рис. 1, а.

Третий предел, как и первый, зависит от скорости реакции обрыва цепи. В случае первого предела это гибель $H\cdot$, а в случае третьего предела — HO_2 и H_2O_2 . В зависимости от значений констант скорости реакций обрыва точки смыкания пределов E и F будут смещаться вдоль линии, которая описывается выражением (3).

Условие второго предела подразумевает полное исключение частицы HO_2 из химического процесса, т. е. скорость реакции гибели частицы HO_2 велика:

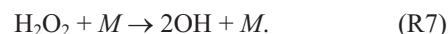


и частица HO_2 не успевает вступить в химический процесс через реакции

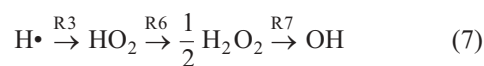


При повышении давления в системе скорость реакции (R4) увеличивается пропорционально росту давления в случае конвекции и слабо зависит от давления в случае диффузии; скорость реакций (R5₋) и (R6) возрастает пропорционально второй степени давления.

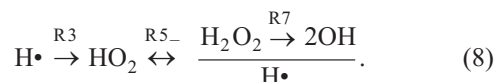
В результате при повышении давления в системе образуется атом водорода по реакции (R5₋) и выделяется тепло в реакции (R6). Кроме того, в результате реакций (R5₋) и (R6) происходит накопление перекиси водорода, что в конце концов приведет к реакции распада последней:



Такая последовательность реакций является продолжением цепи в случае последовательности реакций



и соответствует разветвлению в случае последовательности



Так как частицы HO_2 и H_2O_2 химически менее активны, чем $H\cdot$ и $\cdot OH$, скорость реакций (R5₋) и (R7) существенно ниже скоростей реакций (R1) и (R8) (табл. 1), обеспечивающих разветвление цепи на втором пределе. Из вышесказанного можно сделать вывод, что на третьем пределе период индукции перед взрывом и время протекания взрыва тем больше, чем дальше условие третьего предела от точки C ($\tau_{\text{инд}}^D > \tau_{\text{инд}}^G > \tau_{\text{инд}}^C$) (см. рис. 1, а).

Воспламенение ударной волной

Параметры газовой среды за ударным фронтом зависят от интенсивности ударной волны, которую

можно охарактеризовать либо числом Маха $M = D/a_1$, либо степенью сжатия газа $Z = (P_2 - P_1)/P_1$ (где D — скорость ударного фронта, м/с; a_1 — скорость звука в невозмущенном газе (т. е. в среде, по которой распространяется ударная волна), м/с; P_1 — давление перед ударным фронтом, атм; P_2 — давление за ударным фронтом, атм). Приняв за характеристику интенсивности ударной волны величину относительного сжатия в ней Z , по известным выражениям, следующим из законов сохранения на ударном фронте, выразим нужные в дальнейшем величины [6]:

$$M = \frac{D}{a_1} = \left(1 + \frac{\gamma + 1}{2\gamma} Z\right)^{1/2}; \quad (9)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{(1 + Z)\left(1 + \frac{\gamma - 1}{2\gamma} Z\right)}{1 + \frac{\gamma + 1}{2\gamma} Z}, \quad (10)$$

где T_1, T_2 — температура газа соответственно в ударно-сжатом и исходном состоянии, К;
 γ — коэффициент Пуассона; $\gamma = 1,4$.

На рис. 1,б представлена часть диаграммы воспламенения системы *водород – воздух* в районе перехода второго предела в третий для нескольких значений константы скорости гибели активных частиц с указанием величин периодов индукции воспламенения за ударным фронтом с исходным давлением $P_1 = 1$ атм и начальной температурой $T_1 = 300$ К и $T'_1 = 600$ К. Линия, соответствующая условию $2k_1 = k_3[M]$, построена для смеси *водород – воздух* стехиометрического состава с константами скоростей соответствующих реакций [7]. Эффективная концентрация третьих частиц соответствует ряду $N_2:O_2:H_2 = 1:1:2,5$. В результате получаем $[M]$ (кмоль/м³):

$$[M] = 17,585\bar{P}/T, \quad (11)$$

где $\bar{P}$ — давление, атм.

При $k_1 = 1,92 \cdot 10^{11} e^{-8273,8/T}$ (м³/(кмоль·с)) и $k_3 = 6,17 \cdot 10^{13} T^{-1,42}$ (м⁶/(кмоль²·с)) выражение (3) примет вид:

$$\bar{P} = 3,54 \cdot 10^{-4} T^{2,42} e^{-8273,8/T}. \quad (12)$$

На рис. 1 в плоскости (P, T) схематично изображены пределы воспламенения смеси $H_2 + 0,5(O_2 + 3,76N_2)$ для различных значений констант гибели активных частиц. Для условий на первом и втором пределах — это гибель $H\cdot$ по реакции (R2); для условий на третьем пределе — это гибель перекиси водорода по реакции (R14) (см. табл. 1); для условий смыкания второго и третьего пределов — это гибель частиц $H\cdot, HO_2$ и H_2O_2 .

В табл. 1 представлены элементарные акты, которые приняты нами как акты, характеризующие процессы, происходящие в системе во время периода индукции. Для определения равновесного состо-

Таблица 1. Кинетическая схема из элементарных актов для стадии периода индукции в системе *водород + воздух*

Номер реакции	Элементарный акт
R1	$H\cdot + O_2 \rightarrow OH + O\cdot\cdot$
R2	$H\cdot \rightarrow \text{Гибель}$
R3	$H\cdot + O_2 + M \rightarrow HO_2 + M$
R4	$HO_2 \rightarrow \text{Гибель}$
R5 и R5–	$H_2O_2 + H\cdot \leftrightarrow H_2 + HO_2$
R6	$HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$
R7	$H_2O_2 + M \rightarrow 2OH + M$
R8	$H_2 + O\cdot\cdot \rightarrow OH\cdot + H\cdot$
R9	$OH + H_2 \rightarrow H_2O + H\cdot$
R10 и R10–	$HO_2 + H\cdot \leftrightarrow H_2 + O_2$
R11	$HO_2 + H\cdot \rightarrow 2OH$
R12	$H_2O_2 + H\cdot \rightarrow H_2O + OH$
R13	$H_2O_2 + OH \rightarrow H_2O + HO_2$
R14	$H_2O_2 \rightarrow \text{Гибель}$
R15	$HO_2 + OH \rightarrow O_2 + H_2O$
R16	$HO_2 + O\cdot\cdot \rightarrow OH + O_2$
R17	$H_2O_2 + O\cdot\cdot \rightarrow HO_2 + OH$
R18	$H + OH + M \rightarrow H_2O + M$
R19	$H + O + M \rightarrow OH + M$

яния в системе необходимо учитывать обратные реакции. Для изучения поведения системы во время периода индукции были привлечены две обратные реакции — зарождение цепи (R10–), продолжение цепи $HO_2 \rightarrow H\cdot$ (R5–) и образование промежуточного продукта H_2O_2 , распад которого приводит к разветвлению.

В основном схема реакций в системе *водород + воздух* совпадает с данными [8], поэтому нет смысла обсуждать некоторые отличия нашей схемы. Однако за прошедшее время константы скоростей реакции значительно уточнены, что заметно изменяет картину окисления водорода.

При определении периода индукции по системе элементарных актов (см. табл. 1) использованы константы прямых реакций из [7], константа скорости реакции (R5–) из [9] и константа скорости обратной реакции (R10–), определенная по константам прямой реакции (R10) и равновесия. На основании выбранной кинетической схемы были рассчитаны периоды индукции в двух случаях: 1) инициирования взрыва ударной волной; 2) воспламенения на контактном разрыве при истечении водорода из системы с высоким давлением. Первый из них поясняется на рис. 2.

В системе координат, связанной с ударным фронтом:

$$L_2 = L_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} = L_1 \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2\gamma} Z\right) / \left(1 + \frac{\gamma + 1}{2\gamma} Z\right), \quad (13)$$

где ρ_1, ρ_2 — плотность среды соответственно перед и за ударным фронтом, кг/м³;

$$\gamma = 1,4; Z = (P_2 - P_1)/P_1.$$

В табл. 2 представлены результаты вычислений периода индукции в зависимости от интенсивности проходящей волны без учета теплопотерь и реакций обрыва цепи.

Из анализа табл. 2 следует, что при $T_1 = 300$ К (начальная температура горючей смеси) период индукции самовоспламенения смеси $H_2 + 1/2(O_2 + 3,76N_2)$, как и начальный продольный размер заряда L_1 , соответствующий периоду индукции, сильно зависит от интенсивности падающей ударной волны. Практическое значение имеют размеры $L_1 \leq 15$ м, что соответствует интенсивности волны $Z \geq 12$, т. е. для воспламенения ударной волной ее интенсивность должна превышать $Z = 12$, $M > 3,4$. Когда исходная смесь имеет начальную температуру $T_2 = 600$ К, для

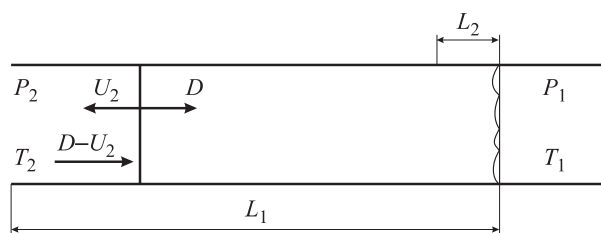


Рис. 2. Иллюстрация инициирования взрыва в смеси $H_2 + 1/2(O_2 + 3,76N_2)$ воздействием ударной волны: L_1 — продольный размер системы с начальными параметрами P_1, T_1 , которая может быть подвержена действию ударной волны постоянной интенсивности Z ; L_2 — размер области ударно-сжатого газа с параметрами P_2, T_2 , соответствующего частицам газа находящимся в невозмущенной области на расстоянии L_1 до ударного фронта с параметрами P_1, T_1 ; отсчет L_2 ведется от ударного фронта

воспламенения очага указанного размера достаточно интенсивности волны $Z = 3$. С увеличением начальной температуры смеси необходимая интенсивность инициирующей ударной волны продолжает снижаться, при $T_0 = 900$ К она будет равна 0,15.

Последовательное самовоспламенение неравномерно нагретых газов ранее рассматривалось без привлечения детальной кинетики [10]. Такой каскадный процесс усиления ударной волны (ведь при реакции выделяется энергия) может привести к высоким избыточным давлениям и возбуждению детонации, если только химическое реагирование смеси способно поддерживать стационарную детонацию, т. е. исходная смесь имеет состав внутри детонационных пределов [11]. Последовательность нестационарных воспламенений может происходить в системах, находящихся вне детонационных пределов.

Воспламенение на контактном разрыве

Второй случай инициирования смеси *водород – воздух* в условиях ударного сжатия, который мы рассматриваем, реализуется при разрушении системы с водородом под высоким давлением. Этот процесс иллюстрируется с помощью схемы ударной трубы (рис. 3 и 4). На рис. 3 секция 4 — область высокого давления с параметрами P_4, T_4 , в которой находится водород. Мембрана отделяет область высо-

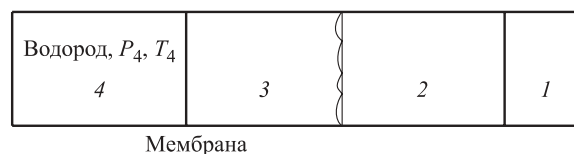


Рис. 3. Схема ударной трубы

Таблица 2. Значения периода индукции и продольных размеров зоны индукции в зависимости от интенсивности удара волны и начальной температуры

Z	M	P_2 , атм	T_2 , К	ρ_2/ρ_1	$\tau_{\text{инд}}^{300}$, с	L_1^{300} , м	L_2^{300} , м	$\tau_{\text{инд}}^{600}$, с	L_1^{600} , м	L_2^{600} , м
1	1,3627	2	738,5	1,625	—	—	—	9,63	7585,5	4668
2	1,647	3	852,82	2,111	—	—	—	0,206	196,2	80,5
3	1,89	4	960	2,5	—	—	—	0,01185	12,94	7,78
4	2,1	5	1064,52	2,818	—	—	—	$8,6 \cdot 10^{-4}$	1,05M	0,29
4,608	2,225	5,608	1127,3	2,98	—	—	—	$7,85 \cdot 10^{-5}$	0,1	0,067
5	2,3	6	583,8; 1167,6	3,08	6300	$5,9 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	$2,71 \cdot 10^{-5}$	0,036	0,0244
8	2,8	9	736,36	3,67	4,08	4675	3397,3	—	—	—
10	3,094	11	837,31	3,94	0,1435	181,5	135,4	—	—	—
12	3,36	13	937,75	4,15	0,0108	14,83	11,25	—	—	—
14	3,6	15	1038,46	4,33	$1,34 \cdot 10^{-3}$	1,975	1,516	—	—	—
16	3,836	17	1138,83	4,48	$2,18 \cdot 10^{-4}$	0,342	0,2655	—	—	—
18	4,053	19	1239	4,6	$4,14 \cdot 10^{-5}$	0,0686	0,0537	—	—	—
19	4,158	20	1289,36	4,654	$1,61 \cdot 10^{-5}$	0,028	0,022	—	—	—
20	4,26	21	1339,37	4,7	—	—	—	—	—	—

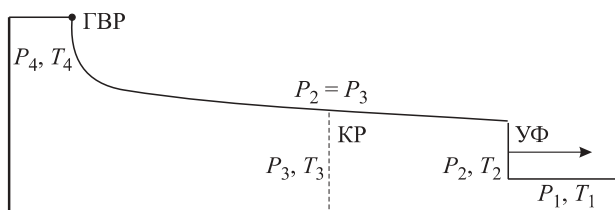


Рис. 4. Распределение давления и температуры в области течения после разрыва мембраны: УФ — ударный фронт, распространяющийся в воздухе; за ударным фронтом — область 2 с параметрами P_2, T_2, U_2 ; КР — контактный разрыв, отделяющий водород от воздуха, на контактном разрыве $P_2 = P_3, U_2 = U_3$, а $T_2 \neq T_3, \rho_2 \neq \rho_3$; ГВР — голова волны разрежения, распространяющаяся в область высокого давления со скоростью звука a_4

кого давления от области низкого давления с параметрами P_1, T_1 .

Начальные параметры течения в ударной волне находятся по известному соотношению для ударной трубы [6]:

$$\frac{Z}{\gamma_1 \left(1 + \frac{1 + \gamma_1}{2\gamma_1} \right)^{1/2}} = \frac{2}{\gamma_4 - 1} \frac{a_4}{a_1} \left\{ 1 - \left[\frac{P_1 (1 + Z)}{P_4} \right]^{\frac{\gamma_4 - 1}{2\gamma_4}} \right\}, \quad (14)$$

где индекс “4” соответствует водороду, “1” — воздуху;

a_1, a_4 — скорость звука соответственно в водороде и воздухе.

Выбирая различные значения начального давления водорода P_4 при температуре $T_4 = 300$ К и $P_1 = 1$ атм при $T_1 = 300$ К путем решения уравнения (14) получаем соответствующие параметры ударного фронта P_2, T_2 (через Z).

Значение температуры T_4 определялось из условия изэнтропического расширения водорода:

$$T_3 = T_4 (P_4 / P_2)^{(1-\gamma)/\gamma}. \quad (15)$$

На контактном разрыве происходит смешение водорода, который охлаждается до температуры T_3 , с воздухом, который нагревается до температуры T_2 . В работе принято, что в результате диффузии и теплопроводности в точке, соответствующей стехиометрическому составу, температура смеси равна адиабатической $T_{см}$.

Решение системы уравнений (R1)–(R19) и уравнения теплового баланса рассматривается в условиях $P = \text{const}$, так как за период индукции давление меняется очень слабо.

Ограничиваясь практически значимым поперечным размером системы d_4 , содержащей водород под высоким давлением, оценим время поперечной разгрузки истекающей струи водорода как $t_p \approx d_4 / a_2$, поскольку разгрузка и охлаждение ударно-сжатого воздуха происходят со скоростью a_2 .

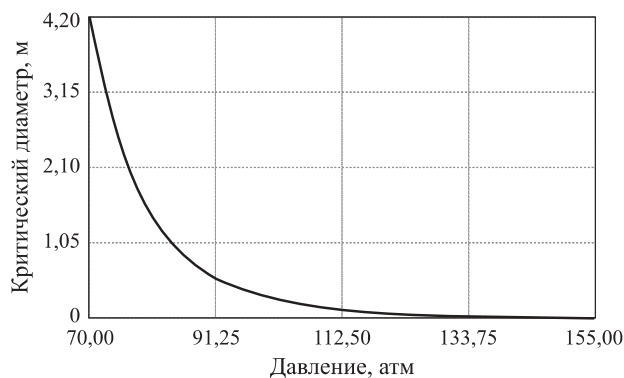


Рис. 5. Зависимость критического диаметра отверстия d_4^* от начального давления водорода

В результате получена зависимость критического диаметра отверстия d_4^* от давления водорода (рис. 5). В работе с учетом детальной кинетики определен период индукции реакции окисления водорода для различных интенсивностей ударной волны, падающей на систему *водород – воздух*. Проанализированы условия самовоспламенения за ударной волной в зависимости от ее интенсивности, в частности определены минимальные критические продольные размеры взрывной системы в зависимости от интенсивности ударной волны. Предсказана возможность последовательности взрывных явлений в неравномерно нагретой среде, причем даже в том случае, если среда не способна к стационарной детонации, т. е. ее состав находится вне пределов детонации.

Выводы

В работе решена задача о распаде произвольного разрыва для сжатого водорода и воздуха при нормальных условиях. С привлечением детальной кинетики решена задача о воспламенении смеси на контактном разрыве. Расчет проводился для смеси стехиометрического состава при адиабатической температуре, которая получалась в результате смешения охлажденного в волне разрежения водорода и нагретого в ударной волне воздуха.

Полученный период индукции сравнивался с временем поперечной разгрузки ударно-сжатого воздуха. Из условия $\tau_{инд} = d_{кр} / a_2$ определялся критический диаметр отверстия в зависимости от начального давления водорода.

Возможность определения критического поперечного размера системы при инициировании воспламенения водорода ударной волной основана на учете боковой разгрузки ударной волны. На время разгрузки $t_p = d_{кр} / a_2$ накладывается условие $\tau_{инд} < t_p$, которое соответствует взрыву.

Это означает, что для первого случая инициирования взрыва смеси *водород – воздух* ударной волной, наряду с минимальным продольным размером L_1 , можно определить и поперечный минимальный размер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lewis D. J. Unconfined vapor-cloud explosions — historical perspective and predictive method based on incident records // Progress Energy Combust. Sci. — 1980. — Vol. 6. — P. 151.
2. Ruder R. O. An unconfined large volume hydrogen air explosion // Pyrodynamica. — 1965. — Vol. 2. — P. 249.
3. Dorofeev S. B., Bezmelnitsin A. V., Sidorov V. P. Transition to Detonation Vented Hydrogen – Air Explosions // Comb. and Flame. — 1995. — Vol. 103. — P. 243–246.
4. Льюис Б., Эльбе Г. Горение, пламя и взрывы в газах. — М. : Мир, 1968.
5. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Д. Горение: физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. — М. : Физматгиз, 2003.
6. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. — М. : Мир, 1977.
7. Kreutz T. G., Law C. K. Ignition in nonpremixed counterflowing hydrogen versus heated air: computational study with detailed chemistry // Comb. and Flame. — 1996. — Vol. 104. — P. 157–175.
8. Гонтковская В. Т., Озерковская Н. И., Перегудов А. Н. Особенности цепно-теплового воспламенения в системе $H_2 + O_2$ // Горение газов и натуральных топлив : матер. VI Всесоюз. симпоз. по горению и взрыву. — Черноголовка, 1980. — С. 14–19.
9. Химия горения / Под ред. У. Гардинера. — М. : Мир, 1988.
10. Махвиладзе Г. М., Розатых Д. Н. Начальные неоднородности температуры и концентрации — причины взрывного протекания химической реакции в горючем газе // Хим. физика. — 1989. — Т. 8, № 2. — С. 221.
11. Нетлтон М. Детонация в газах. — М. : Мир, 1989.

Материал поступил в редакцию 9 июля 2013 г.

English

KINETIC AND GAZDYNAMIC REASONS OF ACCIDENTAL EXPLOSIONS OF HYDROGEN

GOREV V. A., Dr. of Physical and Mathematical 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: kafedrapb@yandex.ru)

MEDVEDEV G. M., Postgraduate Student of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: pogrisk@gmail.com)

ABSTRACT

The work has been done in the system of equations, which takes into account 21 elementary act in the system *hydrogen + air*. The work studies the conditions which lead to trigger system for the second and third limit trigger lines for pressure, which should be implemented for the shock waves.

Source status for system *hydrogen + air* was taken: $P_1 = 1$ atm, $T_1 = 300$ K and $T_1 = 600$ K.

We have defined the induction periods of ignition depending on the intensity leaning wave. This has been done depends on the results of kinetic equations. We have set out the minimum longitudinal and transverse system size, which can cause ignition after the shock-wave, depending on its intensity.

We have shown that explosive processes in uneven-heated mixture can consistently grow from hot areas to cold. The work has studied the ignition in the pin, which is formed between hydrogen and air when the system with high-pressure hydrogen gas is depressurizing.

We have received the ignition conditions which depend on the size of the pressure of hydrogen leaks in the system.

Keywords: chain explosion; shock wave; gas-dynamic rupture; induction period; reaction rate; chain's close; chain's branching; ignition of hydrogen.

REFERENCES

1. Lewis D. J. Unconfined vapor-cloud explosions — historical perspective and predictive method based on incident records. *Progress Energy Combust. Sci.*, 1980, vol. 6, p. 151.
2. Ruder R. O. An unconfined large volume hydrogen air explosion. *Pyrodynamica*, 1965, vol. 2, p. 249.
3. Dorofeev S. B., Bezmelnitsin A. V., Sidorov V. P. Transition to detonation vented hydrogen – air explosions. *Comb. and Flame*, 1995, vol. 103, pp. 243–246.
4. Lewis B., Elbe G. *Goreniye, plama i vzryvy v gazakh* [Combustion, flames and explosions of gases]. Moscow, Mir Publ., 1968.
5. Varnats Yu., Maas U., Dibbl D. *Goreniye: fizicheskiye i khimicheskiye aspekty, modelirovaniye, eksperimenty, obrazovaniye zagryaznyayushchikh veshchestv* [Burning: the physical and chemical aspects, modeling, experiments, education contaminants]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 2003.
6. Whitham G. *Lineynyye i nelineynyye volny* [Linear and nonlinear waves]. Moscow, Mir Publ., 1977.
7. Kreutz T. G., Law C. K. Ignition in nonpremixed counterflowing hydrogen versus heated air: computational study with detailed chemistry. *Comb. and Flame*, 1996, vol. 104, pp. 157–175.
8. Gontkovskaya B. T., Ozerkovskaya N. I., Peregodov A. N. Osobennosti tsepno-teplovogo vosplamneniya v sisteme $H_2 + O_2$ [Peculiarities of chain-heat misfires in the system $H_2 + O_2$]. *Goreniye gazov i naturalnykh topliv: mater. VI Vsesoyuz. simpoz. po goreniyu i vzryvu* [The combustion gases and natural fuels. Materials of VI All-Union Symposium on Combustion and Explosion]. Chernogolovka, 1980, pp. 14–19.
9. Gardiner U. (ed.) *Khimiya goreniya* [Chemistry combustion]. Moscow, Mir Publ., 1988.
10. Makhviladze G. M., Rogatykh D. N. Nachalnyye neodnorodnosti temperatury i kontsentratsii — prichiny vzryvnogo protekaniya khimicheskoy reaktsii v goryuchem gaze [Initial temperature inhomogeneities and the concentration of – the reasons for an explosive leak chemical reactions in fuel gas]. *Khimicheskaya fizika — Chemical Physics*, 1989, vol. 8, no. 2, p. 221.
11. Netleton M. *Detonatsiya v gazakh* [[Detonation in gases]. Moscow, Mir Publ., 1989.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

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

В. Д. ЗАХМАТОВ, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник
Института телекоммуникаций и глобального информационного пространства
НАН Украины (Украина, 03186, г. Киев, Чоколовский б-р, 13; e-mail: zet.pulse@gmail.com)

УДК 004.2

ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ПОЖАРНЫХ МАШИН НА ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ И КОЛЕСНЫХ ШАССИ

Описана история создания пожарных машин на гусеничных и колесных шасси. Обоснован перспективный вариант разработки импульсно-распылительной пожарной машины на шасси тяжелого грузового автомобиля. Сделаны выводы относительно практической реализации моделей и перспективности их практического применения.

Ключевые слова: многоствольный модуль; системы импульсного тушения и защиты; гусеничные и колесные шасси; взрывопожарная защита; комбинированное, гибко управляемое импульсное тушение.

Введение

В настоящее время наиболее перспективной разработкой в области техники для активной ликвидации последствий различных аварий и катастроф, например пожаротушения, взрывопредотвращения, локализации, дезактивации и даже контроля массовых беспорядков, является техника универсальной защиты путем гибко управляемого универсального распыления. Наиболее мощной и гибко управляемой установкой является многоствольный модуль универсального импульсного распыления различных огнетушащих и защитных составов, а также природных материалов выстрелом и залпами. Модуль может быть смонтирован на бронированном, гусеничном шасси или традиционном для пожарной охраны шасси колесного автомобиля. Оптимальным вариантом для любой страны является создание пожарно-спасательного автомобиля многоплановой защиты на шасси отечественного производства.

Перспективная задача

Для Украины оптимальным вариантом является пожарно-защитный комплекс, распыляющий выстрелом или залпом (далее — ПЗКРВЗ), на базе шасси КрАЗ-6322 с пожарной надстройкой — многоствольным залпово-распылительным модулем (далее — МЗРМ). ПЗКРВЗ распыляет огнетушащие составы (ОС) и природные материалы (ПМ) выстрелами из одного ствола или залпами из нескольких стволов.

ПЗКРВЗ предназначен для быстрого и эффективного решения следующих задач:

1) тушение масштабное и дистанционное пожаров классов А, В, С, D, а также поджогов (впервые), включая террористические и диверсионные с применением боевых зажигательных веществ;

2) обеспечение маневрирования войск и ведение ими боевых действий в обширных зонах массовых пожаров, возникших вследствие применения зажигательного и объемно-детонирующего (термобарического) видов вооружений;

3) быстрая постановка маскировочных завес (МЗ) и ложных целей (ЛЦ) заданных размеров и конфигураций;

4) предотвращение и локализация объемных взрывов газопаропылевоздушных сред;

5) локализация (осаждение) и дезактивация токсичных облаков и дымовых завес;

6) локализация радиоактивной пыли путем осаждения облаков и связывания (фиксации) пыли, осажденной на различных поверхностях, с помощью создания адсорбционных пленок, плотно прилегающих к различным поверхностям;

7) контроль массовых беспорядков путем имитации природных, локальных, пылевых бурь и шквалов на заданной площади в течение заданного времени.

Базовый автомобиль на шасси КрАЗ уверенно работает в экстремальных природных, климатических и дорожных условиях всех континентов в диапазоне температур от минус 50 до +60 °С на высоте до 5000 м над уровнем моря, преодолевает водные преграды глубиной до 1,5 м, снежный покров — до 0,6 м. Он оборудован системой централизованной подкачки шин, обеспечивающей высокую проходимость по грунтам с низкой несущей способностью. По заказу потребителя базовый автомобиль может быть оснащен как левосторонним, так и правосторонним рулевым управлением, броневакой защитой кабины, теплосветозащитными экранами и импульсными оросителями для защиты колес, ка-

бины, кузова, распылительного модуля, основных узлов и агрегатов.

История создания пожарных машин на военных шасси

С конца 40-х годов XX века известна пожарная машина на шасси Т-34, на башенном посадочном погоне которой были смонтированы стандартный лафетный гидравлический ствол с интенсивностью подачи 30 л/с и цистерна на 3–5 т воды. Этот проект был реализован в Сибири, где арсеналы и склады с боеприпасами подвержены частым возгораниям от лесных пожаров. Данная пожарная машина успешно применялась при тушении пожаров на складах боеприпасов и горящих лесов вокруг этих складов. Экипаж машины состоял из 2 человек — водителя и оператора, управляющего лафетным стволом, и находился под защитой противоснарядной брони [1, 2].

В начале 70-х годов по заданию Главного ракетно-артиллерийского управления (ГРАУ) Минобороны СССР была разработана гусеничная пожарная машина ГПМ-54 (рис. 1), несущая 10 т воды и до 2 т пенообразователя, с лафетным стволом с интенсивностью подачи воды до 40 л/с. Однако, как показала практика, эта машина, хотя и превосходила значительно по своим огнетушащим возможностям пожарные колесные стандартные машины, например АЦ-40, АА-40 (соответствуя 2–3 АЦ-40, 4–5 АА-40), и соответствовала аэродромным тяжелым пожарным машинам АА-60 и АА-70, но без дозаправки или поддержки другими пожарными машинами самостоятельно не способна была обеспечить тушение локального очага в штабеле боеприпасов после 6–8 мин свободного развития пожара. Шасси было разбронировано, а противоснарядную броню заменили 20-мм листы, способные успешно защитить только от стрелкового оружия или пулеметов, но не способные противостоять прямому попаданию ракет или снарядов, как правило, часто разлетающихся хаотично по различным траекториям из горящих штабелей. Наиболее крупным недостатком машины являлось то, что при подаче воды нельзя было маневрировать, в частности быстро выехать из зоны, опасной по тепловому воздействию от пламени пожара. Поэтому машины ГПМ-54 загорались при тушении штабеля с дистанции 10–20 м, но чаще просто не могли подъехать к горящему штабелю на дистанцию эффективного тушения.

Например, для тушения пожара штабелей боеприпасов на 61-м арсенале под Лозовой привезли пять “пожарных танков” ГПМ-54. Первый “танк” быстро вышел из строя из-за перегрева двигателя под воздействием тепловых излучений и работы в атмосфере, обедненной кислородом и сильно загрязненной, что типично для ГПМ-54. На другой день

уже четыре ГПМ-54 не могли работать, потому что температура в районе пожара была для них слишком высока [3]. Такие случаи были и раньше. Так, в 1982 г. на крупнейшем арсенале Главного ракетно-артиллерийского управления (ГРАУ) в Йошкар-Оле сгорели две ГПМ-54 с экипажами. Первая машина с опытным водителем прапорщиком и оператором лафетного ствола — начальником объектовой пожарной части тушила горящий штабель с наиболее эффективной дистанции — 10 м. Когда запас воды иссяк, из-за сильного задымления двигатель машины заглох, и его не смогли запустить. Огонь от штабеля охватил машину. Вторая машина во главе с заместителем начальника части поехала выручать первую, сбила с нее пламя, но и у нее заглох двигатель. В результате обе машины сгорели вместе с экипажами [4].

Эти недостатки ГПМ-54 были отмечены в ряде приказов по ГРАУ МО СССР в 1983 г., и на их основании были приняты резолюции о необходимости создания новых, бронированных, ГПМ. Новой разработкой стала импульсная многоствольная установка на шасси танка Т-62 “Импульс-3” с башенной 50-ствольной установкой (рис. 2), в каждом стволе которой размещены распылительные заряды с электровоспламенителями, по 20–30 кг распыляемого ОС или ПМ в зависимости от их плотности и влажности (в контейнерах — жидкие, вязкие или порошковые; в канале ствола — сыпучие, зафиксированные с обеих сторон пыжами). Гусеничная бронированная пожарная машина (ГБПМ) “Импульс-3М” создана по заданию ГРАУ МО СССР для дистанционного тушения (с относительно безопасных расстояний — до 100 м) горящих штабелей боеприпасов. Шасси было мало изменено: убраны боеукладки, за счет чего увеличен свободный объем обитаемого отделения; ускорена эвакуация экипажа; сохранены фильтры очистки воздуха от токсичных и радиоактивных пылей, аэрозолей и броня, защищающая от снарядов, обрушений и крупных осколков. Замена башни с орудием на многоствольный модуль (ММ) позволила облегчить шасси на 3–5 т, повысить скорость и маневренность “Импульс-3М”, навесить теплоотражательные экраны, импульсные распылители для внешнего охлаждения и внутренней защиты обитаемого и моторного отделений. Стволы многоствольной установки могут заряжаться различными ОС: жидкостями, растворами, гелями, порошками и сыпучими материалами, что впервые позволит обеспечить одновременно и эффективное тушение, и ликвидацию последствий аварий. Если запас контейнеров с ОС закончится, то есть компактные распылительные патроны — до 500 шт. в боеукладках на 10 перезарядок стволов.



Рис. 1. Гусеничная пожарная гидравлическая машина ГПМ-54 на разбронированном шасси танка Т-54 (а) и модификация ГПМ — чешская SPOT-55 (б)

Впервые создана пожарная машина, способная обеспечить гибко регулируемое (по масштабам, дальности и виду) тушение путем последовательного распыления различных огнетушащих и защитных составов (жидкие, вязкие, клейкие, гели, порошки) и экологически чистых природных материалов (грунт, грязь, пыль, песок, снег и др.). Дополнительно по желанию заказчика шасси и установка оснащались светотеплозащитными экранами и имели теплоотражающую светлую окраску. Учитывая опыт гибели машин ГПМ-54 с экипажами при тушении горящих штабелей боеприпасов, разработчики предусмотрели на новой ГБПМ “Импульс-3” фиксированные на внешней броне импульсные распылители воды и гелей, создающие при распылении пенообразный теплопоглощающий слой на кузове (броне) машины [5].

ГБПМ “Импульс-3” эксплуатируется с начала 90-х годов: 7 машин — в объектовых военизированных пожарных частях (ВПЧ) Украины (Чернобыль, Полтава, Черкассы, Черниговская обл., Гнединцы, Симферополь); 15 машин — в России (из них 4 — в Башкортостане), 5 машин — в Йемене. Однако, как показала практика, при эксплуатации ГБПМ “Импульс-3” противоснарядная броня необходима только при прямых попаданиях снарядов и ракет, разлетающихся из горящих штабелей ящиков с бое-



Рис. 2. ГБПМ “Импульс-3М” с башенной 50-ствольной установкой (разработка и производство КТЦ и ДРМЗ по патенту автора) (а) и немецкая ГБПМ на шасси танка “Леопард” (б)

припасами, а гусеничное танковое шасси создает немалые трудности при эксплуатации в пожарных частях, малоприспособно для длительных маршей и требует частых регулярных ремонтов. Рынок для ГБПМ “Импульс-3” ограничен, поэтому целесообразно спроектировать ММ на шасси автомобиля с широким рынком сбыта, налаженной системой ремонта и поставкой необходимых запчастей.

Работа ГБПМ “Импульс-3” в России и на Украине дала богатый материал в плане выявления достоинств и недостатков машины и их анализа. ГБПМ “Импульс-3”, как упомянуто выше, проектировалась для тушения горящих штабелей деревянных ящиков с боеприпасами. Но впервые эта машина была применена для тушения газовых скважин и нефтяных фонтанов в составе Полтавского отряда по ликвидации аварий на газонефтяных промыслах. Тактика применения машины отрабатывалась на полигоне Полтавского отряда. Залповое распыление более чем из двух стволов было реализовано впервые в мире. Этим способом можно моделировать локальные, природные газопылевые и газопесчаные “вихри”, “бури”, газоводяные “шквалы” и “снежные метели” с гибко регулируемыми параметрами (кинетическая энергия для преодоления интенсивного, мощного пламени на большой площади, ширина и высота фронта “вихря” для одновременного тушения сразу на большой площади).

Именно этот (последний) параметр позволяет осуществлять тушение с минимальными удельными расходами ОС, а также подготовку и масштабное мощное тушение за короткое время; комбинированное тушение с регулируемыми интервалами между подачей различных ОС; тушение поджогов и масштабных пожаров с помощью массового применения зажигательных боеприпасов и огнеметов; предотвращение и локализацию объемных взрывов пыли-, паро-, капельно-газовых облаков; мгновенную постановку светотеплозащитных экранов и маскировочных завес; локализацию и дезактивацию токсичных выбросов, облаков, осадков; локализацию радиоактивной пыли в облаках и осаждаемой пыли на различных поверхностях; локализацию и утилизацию разливов нефти на воде и побережье (рис. 3).

При залповом распылении многократно снижается отдача по сравнению с распылением такой же массы из одного ствола (например, при распылении 200 кг огнетушащего порошка (ОП) залпом из 10 стволов “Импульс-3М” по сравнению с распылением 200 кг из одного ствола пневмоимпульсного одноствольного модуля на салазках, внедренного еще в 80-е годы в Газпроме и широко применяющегося до настоящего времени в отрядах по ликвидации горящих газовых скважин (см. рис. 4,а)). При этом дальность распыления при залповом выбросе ОП в 5–6 раз выше (до 100–120 м), чем при распылении из одного ствола (20 м). По сравнению с 5-тонной порошковой машиной ОП-5 (см. рис. 4,б) залп из 10 стволов ГБПМ “Импульс-3М” позволяет потушить такую же площадь (до 1000 м²), следовательно при залповой импульсной подаче коэффициент полезного использования ОП возрастает в 25 раз.

Первая распыляющая выстрелом или залпом многоствольная пожарная установка на полозьях была испытана в 1982 г., и с тех пор продолжают работы по совершенствованию многоствольных систем в плане повышения определяющих огнетушащую эффективность основных тактико-технических характеристик (масса метаемого состава, начальная скорость распыления, время перезаряжания, безотказность, надежность работы, дальноточность, проникающая способность, площадь фронта распыленного огнетушащего состава). Установлены оптимальные калибр и длина ствола, разработана компоновка многоствольной системы, созданы элементы раздельно-гильзового заряжания: вышибной заряд и герметичная цилиндрическая емкость-гильза, обеспечивающая быстрое заряжение в ствол и долговременное (до 10–15 лет) гарантированное хранение любого огнетушащего состава (порошка, геля, жидкости) с различными характеристиками (дисперсностью, удельным весом, плотностью, вязкостью, смачиваемостью, химической активностью).



Рис. 3. Опытный 10-ствольный модуль, монтируемый на прицепах, шасси, палубах катеров и кораблей



Рис. 4. Одноствольный пневмоимпульсный модуль на салазках (а) и пневматическая порошковая машина ОП-5 с 5 т ОП (б)

Это позволяет сосредотачивать достаточные запасы огнетушащих боеприпасов во многих местах, а также монтировать заряженные многоствольные модули на многих опасных участках, обеспечивать их многолетнее нахождение в режиме ожидания; всегда и незамедлительно оказывать комбинированное огнетушащее воздействие с помощью нескольких последовательных (с регулируемыми интервалами) зал-

пов различных распыленных огнетушащих составов. Тонкодисперсное, высококонцентрированное распыление этих составов мощными скоростными газовыми потоками обеспечивает высокоэффективное использование их в зонах горения (над раскаленной поверхностью горящего материала и внутри его) с комплексным воздействием, сочетающим одновременно разрушение, охлаждение всей структуры и объема зоны горения. При этом обеспечивается проникновение ОС в горящие конструкции со сложной конфигурацией поверхности. Значительные приоритетные исследования в области механики и динамики импульсных многофазных потоков, а также внутренней и внешней баллистики взрывных многоствольных систем позволили установить ряд новых закономерностей процессов образования, распространения и огнетушащего воздействия импульсных газодисперсных струй и многоструйных потоков. На основе анализа этих новых закономерностей разработаны новые уникальные методы гибкого и оперативного управления скоростью, кинетической энергией, дальностью, масштабами, кратностью и видом воздействия огнетушащих потоков.

Отработаны также методы многоцелевого защитного воздействия путем управляемого комбинированного распыления различных защитных составов из многоствольных установок, в том числе постановка светотеплозащитных завес заданных размеров, конфигураций и сред, предотвращающих воспламенение и взрывы газовых, паровых и пылевых сред. Отработаны методы создания мощных направленных потоков, способных разрушить и локализовать выбросы активных веществ, а также локализовать активные пыли и аэрозоли на разных по сложности конфигурации поверхностях. Пневмоимпульсные ствольные установки или 9-ствольные 120-мм пирогазогенераторные установки не обеспечивают быстрого и эффективного пожаротушения. В июле 1985 г. в г. Йошкар-Ола, в июне 1987 г. в г. Балаклея прошли полигонные испытания 10-ствольных установок со стволами из 120-мм минометных труб, с маломощными вышибными зарядами. Эти установки обеспечивали выброс порошка лишь на расстояние до 15 м, создавая низкоскоростное и малоконцентрированное газопорошковое облако, не способное оказать заметного огнетушащего воздействия на горящий полноразмерный штабель.

В мае–июне 1988 г. в г. Балаклея на арсенале боеприпасов были проведены испытания по тушению пяти модельных штабелей тары — ящиков с боеприпасами (размером 12 м по фронту, 6 м в глубину и 3,5 м в высоту) с помощью традиционной пожарной техники: ГПМ-54, трех пожарных машин АПЦ-40, турбореактивной установки АГВТ. Ни одна из этих установок не сумела потушить три горящих

штабеля после 8 мин свободного горения. Штабеля полностью сгорели за 20–25 мин. Содержащиеся в них несколько гильз с пороховыми зарядами взорвались на 10–12-й минутах с начала пожара штабеля и были потушены только тогда, когда ящики обрушились и превратились в груды горящих обломков. Такое же неэффективное тушение 4-го штабеля отмечено у одноствольной пневмоимпульсной установки с калибром ствола 300 мм, содержащей 200 кг ОП, и 9-ствольной пирогазогенераторной установки с калибром стволов 120 мм, содержащей по 15 кг порошка в каждом стволе. Установки состоят на вооружении противотанковых частей Газпрома (Россия) и Нефтегаза (Украина) [2, 4]. Они сложны по конструкции, перезаряжаются не менее чем за 40 мин и распыляют ОП не более чем на 15 м, создавая при этом низкоскоростной и маломощный газопорошковый поток, сбивающий пламя на некоторое время, но не обеспечивающий тушения горящих деревянных поверхностей с высокотемпературной поверхностью.

В августе 1988 г. были успешно проведены испытания по тушению трех штабелей размерами 15×6,5×3,5 м двумя 200-мм многоствольными установками, смонтированными на шасси зенитных двухосных лафетов: 25-ствольной откатной и 30-ствольной безоткатной системами импульсного распыления. Тушение двух других штабелей осуществлялось с помощью гидромонитора с интенсивностью подачи воды 80 л/с, работающего от двух пожарных машин с насосами — АПЦ-40 и газотурбинной установки АГВТ, распыляющей воду струей посредством газотурбинного двигателя. За 15 с 25-ствольная откатная установка сделала три залпа из 8; 8 и 9 стволов с расстояния 25 м по штабелю, свободно горевшему 8 мин. Пламя и дым были сбиты полностью с наружной поверхности штабеля. Газопорошковые высокоскоростные вихри проникли внутрь штабеля по межящичным вертикальным и горизонтальным щелям. Во всем объеме штабеля и вокруг него была создана плотная газопорошковая среда типа “колпак” с концентрацией, достаточной для тушения. Плотный “колпак” существовал над штабелем в течение 5–6 мин. За это время был перекрыт доступ кислорода к горящим поверхностям, а огнетушащая газопорошковая среда проникла к горящим поверхностям по межящичным вертикальным и горизонтальным щелям, служившим путями подсоса кислорода к очагу пожара.

Для достижения наибольшего эффекта первый и второй залпы осуществлялись водой из пяти стволов из двух нижних ствольных рядов установки: огнетушащий газодводяной шквал плотно заполнил все пространство зоны горения внутри штабеля и эффективно потушил пожар. При варианте тушения

только порошком необходимы дополнительные залпы “шквалом” (вихрем) тонкораспыленной воды или продолжительная подача воды из традиционных ручных или лафетных стволов, так как без достаточно полного охлаждения обугленной древесины не может быть достигнуто окончательное тушение. Например, после двух залпов порошковыми “вихрями” (пыльные “смерчи”) и рассеяния образовавшегося газопорошкового облака на штабель потребовалась дополнительно заливка ручным стволом в течение 5–7 мин нескольких малых источников дыма — потенциальных очагов повторного возгорания.

Затем тот же штабель разожгли повторно; время свободного горения — 12 мин. Одновременные залпы из ММ по траекториям, расположенным под прямым углом, по фронту штабеля из 25-ствольной откатной установки и с торца штабеля из 30-ствольной установки позволили сбить огонь и полностью потушить штабель взаимодействующими газовойдяными “шквалами”. При тушении по той же схеме горизонтально ориентированными порошковыми “смерчами” понадобилась работа пожарного с ручным стволом в течение 2,5 мин. В связи с этим может возникнуть вопрос: зачем нужны порошковые “смерчи”, если водяные “шквалы” тушат быстрее и эффективнее, но дальность тушения порошкового “смерча” в 1,5–1,7 раза больше? Для тушения развитого пожара с сильным теплосветовым излучением и высокой вероятностью взрывов сначала с дальней (безопасной) дистанции создается порошковый “вихрь”, сбивающий пламя, снижающий тепловое излучение и обеспечивающий подвоз ММ на дистанцию действия водяного “шквала”, который быстро осаждает порошковое облако, обеспечивая видимость для последующих прицельных “шквалов” по интенсивно дымящимся, повторно возгорающимся фрагментам штабеля.

Тушение 3-го штабеля мощной компактной струей воды было длительным (до 40 мин) и потребовало не менее 10 пожарных машин АЦ-40 с водой. Это означало фактический неуспех тушения — невозможность предотвращения перехода горения штабеля во взрыв боеприпасов на непотушенном участке. К концу тушения штабель был полностью разрушен в результате комбинированного воздействия: теплового — пожара и ударного — водяной струи.

Штабель, который тушили с помощью АГВТ, сгорел быстрее всех (примерно за 4–5 мин после начала тушения), вследствие того что тушащее воздействие имело локальный характер, а раздутие пламени мощным спутным потоком воздуха было тотальным (имело гораздо больший, в 10–20 раз, масштаб). В итоге вокруг относительно небольшой

зоны тушения образовалась в 3–5 раз большая зона с интенсифицированным горением с большим белым пламенем. В результате этого суммарное воздействие можно было классифицировать не только как неэффективное тушение, но и как тушение, сильно способствующее усилению горения и, как следствие, переходу горения во взрыв боеприпасов. Поэтому штабель быстро сгорел и обрушился.

Анализ результатов экспериментов не оставил сомнений в том, что наиболее эффективный метод тушения — это импульсное тонкодисперсное распыление воды сразу по всему фронту участка горения (со стороны направления залпа) с мощным проникающим эффектом, обеспечивающим тотальное разрушение, охлаждение и разбавление конденсированной зоны горения. Разработка многоствольных установок на шасси лафетов, грузовых автомобилей и танков и унитарных герметичных патронов с различными огнетушащими составами позволила реализовать комбинированный способ импульсного тушения. Первые два залпа порошком массой по 150–250 кг из 8–10 стволов (15–25 кг порошка в каждом стволе) осуществляется с дальней дистанции и обеспечивает сбивание пламени, локализацию очага, снижение температуры в штабеле, исключение возможности развития горения во взрыв боеприпасов. Снижение интенсивности теплоизлучения и временное предотвращение вероятности взрыва позволяют многоствольной установке быстро подъехать к штабелю и с расстояния 15–20 м произвести 1–3 залпа распыленной водой. Туманообразный, оптически плотный, мощный скоростной шквал с широким фронтом окутывает штабель, проникает внутрь его и обеспечивает мощный объемный и поверхностный охлаждающий эффект по всей площади горения. Последний залп можно сделать пенообразователем или загущенной жидкостью, налипающей на потушенные нагретые поверхности, что обеспечивает изоляцию их от притока тепла и окислителя и окончательно исключает возможность повторного воспламенения.

Для машины “Импульс-3М” наиболее мощным является залп из 10 стволов, позволяющий за 1–2 с сбить пламя на площади от 500 до 1100 м², причем без перезарядки машина способна осуществить пять таких залпов. Экспериментально установлены предельная дальность тушения таким способом: до 50 м — розливов нефтепродуктов, до 70 м — штабелей дерева, до 100 м — газовых фонтанов с дебитом до 1·10⁶ м³ и давлением до 140 атм. Эксперименты с упомянутым газовым фонтаном позволили определить примерную вероятность тушения фонтана: с дистанции 25 м — 100 %, 50 м — до 80 %, 75 м — до 60 %, 100 м — до 40 %. Основную роль в определении вероятности тушения играла аэроди-

намическая обстановка на траектории движения потока и наличие отражающих конструкций вокруг скважины. Слитный залп из двух установок “Импульс-3М”, имеющих по 10 стволов каждая, обеспечивает 100 %-ное тушение газового фонтана с дебитом до $2,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ и давлением до 200 атм с дистанции 50–75 м и 60 %-ное — с дистанции 100 м.

Убедительно преимущества импульсного тушения были продемонстрированы в Варвинском р-не Черниговской обл. при тушении высокодебитной газовой скважины с дебитом $1,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ и давлением до 150 атм, состоящей из трех струй газа — вертикальной и двух горизонтальных, направленных в диаметрально противоположные стороны. Длина факелов пламени составляла 15–20 м, а максимальный диаметр — до 2,5 м. Сначала скважину с дистанций от 15 до 30 м безуспешно тушили двумя пожарными машинами с насосами и лафетными стволами с интенсивностью подачи до 60 л/с (фирмы “Розенбауэр”, Австрия), смонтированными на шасси “КамАЗ”, шестью переносными лафетными стволами с интенсивностью подачи воды 20 л/с от двух насосных пожарных машин, обслуживаемыми 25 пожарными, работающими в высокоопасной зоне. За 15 мин интенсивной работы по фонтану было выпущено более 220 т воды, но при этом удалось достичь лишь кратковременного тушения одной струи газа, и только при условии, что по ней было сосредоточено воздействие всех стволов. Однако после переноса подачи воды на другую газовую струю ранее потушенная вновь воспламенялась.

На втором этапе машины “КамАЗ” сменила порошково-пневматическая пожарная машина АП-5 с 5,5 т огнетушащего порошка и лафетным стволом с интенсивностью подачи до 50 л/с и дальностью — до 20 м. АП-5 выбросила весь запас порошка с максимальной интенсивностью подачи за 2 мин при одновременной работе шести переносных лафетных стволов (120 л/с воды суммарно), однако не было достигнуто кратковременное тушение даже одной струи газа. Затем на смену АП-5 вступила в действие газоводяная машина АГВТ-150 с газотурбинными авиационными двигателями, распыляющая до 90 л/с воды в виде мощного газоводяного потока диаметром до 5 м и дальностью подачи до 30 м. При этом, как и в первом случае, было достигнуто временное тушение только одной струи, пока на нее непосредственно воздействовал газоводяной поток. Таким образом, попытки потушить скважину оказались неудачными, несмотря на интенсивную работу 4–6 машин и 25–40 пожарных в опасной зоне в течение 25 мин, подачу более 500 т воды и 5,5 т порошка.

Последняя атака была проведена ГБПМ “Импульс-3М” с дистанции 40 м. Всего лишь одним зал-

пом из 10 стволов, распылением 200 кг ОП в виде мощного газопылевого “вихря” диаметром до 5 м было достигнуто тушение прямым воздействием за 1 с двух горизонтальных струй газа, а через 3–4 с — вертикальной струи за счет эффекта эжекции этой струей газопорошкового облака, образовавшегося после тушения двух горизонтальных струй. Во втором и третьем экспериментах все три газовые скважины были потушены одним залпом с прицелом, измененным по вертикали. В четвертом эксперименте первым залпом были потушены горизонтальные скважины, а вторым через 10 с — вертикальная. Во всех случаях повторных воспламенений не наблюдалось.

Позднее была проведена серия экспериментов по тушению трехструйной скважины залпами из 10 стволов с дистанции 50 м с изменением углов горизонтального и вертикального наведения. Эти эксперименты позволили определить оптимальные параметры подготовки залпов: взаимную расстановку стволов, участвующих в залпах, горизонтальное и вертикальное наведение их при тушении горящего фонтана, расположенного на открытой поверхности.

В объектовых пожарно-спасательных частях МЧС Украины находится семь 50-ствольных установок “Импульс-3М” на шасси танка Т-62. Шасси претерпело некоторые изменения: убраны боеукладки для снарядов и патронов, что заметно увеличило свободный объем обитаемого отделения танка и обеспечило возможность быстрой аварийной эвакуации из пораженной горячей машины; полностью сохранена броня, защищающая от снарядов, обрушений и крупных осколков, а также система избыточного давления в обитаемом отделении и фильтры очистки воздуха, что надежно защищало экипаж от токсичных, бактериологических и радиоактивных пылей и аэрозолей. Снятие с танка боеукладок и замена бронированной башни с артиллерийским орудием на многоствольную установку позволили облегчить танк на 3–5 т, что привело к повышению скорости и маневренности машины, а также оснастить ее навесными теплоотражательными экранами из тонких металлических листов, крепящихся на стойках на расстоянии 5–10 см от брони; импульсными системами, охлаждающими броню тонкораспыленной водой снаружи и тушащими возгорания в обитаемом и моторном отсеках.

Стволы многоствольной установки могут заряжаться различными огнетушащими составами — жидкостями, растворами, гелями, порошками и сыпучими материалами. Благодаря этому одна пожарная машина может осуществить впервые полностью автономное комбинированное эффективное тушение различных видов пожаров. Если запасы контейнеров с огнетушащими составами закончи-

лись, а компактные распылительные патроны еще есть (в боеукладках для снарядов возможно разместить до 500 патронов — 10 полных залпов, а контейнеры может подвозить только транспортная машина) можно заряжать стволы и эффективно распылять из них различные природные материалы (грунт, грязь, песок, вода любой степени загрязненности, пыль, снег, лед и пр.).

Таким образом, работа данной установки в незначительной мере зависит от подвоза контейнеров с огнетушащим составом. При полном срабатывании всех стволов (например, при пяти залпах из 10 стволов) можно потушить штабель боеприпасов не более чем за 1 мин после 10 мин свободного горения штабеля. Такую работу за 10–15 мин могут выполнить не менее четырех традиционных пожарных танков ГПМ-54. Однако такого количества пожарных танков нет ни в одном из российских и украинских arsenалов. Кроме того, трудно реализовать на практике их согласованную работу по горящему штабелю на открытой местности, а по штабелю внутри обваловки могут одновременно работать не менее двух машин ГПМ-54, или “Импульс-3М”, или импульсных установок на шасси прицепов или артиллерийских лафетов. Такие 9–16-ствольные установки могут стоить 10–15 тыс. долл., в то время как “Импульс-3М” стоит до 100 тыс. долл., а ГПМ-54 — до 140 тыс. долл. Прицепные многоствольные установки могут транспортироваться к горящему штабелю стандартными пожарными и другими машинами, которые могут быстро доставить установку на позицию тушения и удалиться в безопасное место. Все виды ММ залпового распыления уже выпускались и могут быть выпущены на украинских заводах без импортных комплектующих. Вполне реально за 1–2 года оснастить этими установками наиболее крупные базы и арсеналы боеприпасов, а за 3–5 лет — и все остальные склады боеприпасов на Украине. Это позволит многократно снизить вероятность таких катастрофических пожаров и взрывов на арсеналах, базах и складах боеприпасов, какие имели место в Лозовой, Ново-Богдановке и ряде российских арсеналов.

Известны опытно-промышленные образцы многоствольных импульсно-распылительных установок (рис. 5) на колесных и гусеничных шасси. На Горьковском автомобильном заводе в Нижнем Новгороде разработана (с использованием опыта разработки “Импульс-3М”) 22-ствольная установка “Ветлуга”, распыляющая порошок выстрелом. Однако она лишена главных достоинств “Импульс-3М”: не может создавать мощные огнетушащие вихри, так как залповое распыление возможно не более чем из двух стволов на расстояние до 40 м; не способна распылять жидкости, вязкие составы (наиболее эффектив-



Рис. 5. Импульсная 22-ствольная установка порохового распыления “Ветлуга” (Горьковский автозавод) (а) и 5-ствольная установка порохового распыления воды на базе танковых огнеметов (ВНИИПО, Москва) (б)

ные для тушения) и природные материалы. Пятиствольная установка на базе патронных огнеметов (ВНИИПО) сложна в эксплуатации и распыляет посредством выстрела только очищенную воду с пенообразователем на расстояние до 60 м при залпе из двух стволов. Пятиствольная пневмоимпульсная порошковая установка выбрасывает одновременно 200 кг порошка, но только из одного ствола, обеспечивая дальность тушения не более 20 м. Кроме того, перезарядка установки крайне длительно и трудоемко — по 40 мин каждый ствол [5].

Современный этап развития проекта

Опытно-промышленная партия ГБПМ “Импульс-3” испытывалась на практике с 1992 г. Эксплуатация осуществлялась в военизированных пожарных частях (ВПЧ) Украины (7 машин) и России (12 машин) с целью защиты нефтегазовых, химических, энергетических (атомных) объектов, шахт, в том числе в условиях Крайнего Севера (Норильск). Собраны сведения об опыте эксплуатации, замечания, анализ имеющегося опыта испытаний и реальной эксплуатации ГПМ-54, что позволило сформулировать предложения по модернизации ПЗКРВЗ. На их основе возможна разработка ТЗ на конструи-

рование новой ГБПМ “Импульс-Х” или ПЗКРВЗ на колесной базе, которая будет иметь более широкий рынок сбыта.

Однако другие страны не ждут, когда на Украине и в России, наконец, продолжат работу над замороженным в 1992 г. проектом ММ. Например, в Чехии разработан проект многоствольного модуля (рис. 6) с учетом всех недостатков машин “Импульс-3М”, выявленных в процессе эксплуатации с 1993 г. в пожарных объектовых частях России и Украины. В Китае начаты работы по созданию ММ на шасси основного пожарного автомобиля (рис. 7). Основные параметры всех вышеперечисленных пожарных машин и перспективного проекта приведены в таблице.

Для реализации проекта по созданию ПЗКРВЗ на Украине наиболее целесообразно выбрать шасси КрАЗ по ряду причин:

- 1) это единственный тяжелый грузовой автомобиль украинского производства;
- 2) до настоящего времени КрАЗ еще продается в страны СНГ;
- 3) имеется опыт изготовления на базе шасси КрАЗ-6322 многоствольных реактивных систем залпового огня (РСЗО): “Бастион-01(02)” с 40-ствольной РСЗО-БМ-21 “Град” с калибром стволов 120 мм и “Бастион-3” с 16-ствольной РСЗО-9К57 “Ураган” с калибром стволов 220 мм (рис. 8) [6]. Последняя машина при залпе из двух стволов сопоставима по мощности отдачи с залпом из 10 стволов ГПМ “Импульс-3”.

Имеющийся опыт производства РСЗО на базе КрАЗ дает основание считать, что проект ПЗКРВЗ будет не только успешным, но и не потребует много времени (возможно, не более года) и относительно небольшого финансирования.

Исходными данными для определения финансирования проекта могут быть данные по проекту “Импульс-3”, финансирование которого в период с 1988 по 1991 гг. составило 2,15 млн. руб. За время выполнения работ по проекту были изготовлены и испытаны на полигонах экспериментальные и опытно-промышленные образцы “Импульс-1”, “Импульс-2”, “Импульс-2М”, “Импульс-3”, “Импульс-3М”. После завершения проекта изготовлено 30 машин себестоимостью (заводской стоимостью) 35 680 долл., которые были проданы на территории Украины, а также в Россию и Йемен по цене от 50 тыс. до 200 тыс. долл.

Данные ПЗКРВЗ являются первыми универсальными пожарно-спасательными машинами в мире, которые способны распылять широкий диапазон ОС и инертных материалов. В частности, ПЗКРВЗ обеспечивают тонкодисперсное, масштаб-



Рис. 6. Многоствольный модуль с числом стволов, определяемым грузоподъемностью шасси



Рис. 7. Вариант компоновки ММ на шасси пожарного автомобиля



Рис. 8. Боевая машина “Бастион-3”

ное, эффективное по дальности и, как следствие, результативное распыление жидких, вязких и порошковых ОС, а также природных негорючих материалов — грунта, грязи, песка, пыли, снега. Исходя из опыта работы с ГПМ-54 можно предположить следующие параметры тушения ПЗКРВЗ при подаче ОС одним залпом из 10 стволов калибром 200 мм:

- при распылении из каждого ствола по 20 кг огнетушащего порошка марки ПСБ-3 или “Пирант” — дальность подачи до 120 м, ширина фронта огнетушащего потока от 1,5 до 12 м, площадь сбивания пламени с возможными повторными воспламенениями до 950–1000 м², включая площадь окончательного тушения до 600–700 м²;

Параметры пожарных машин на военных шасси

Параметр	Гидравлические традиционные				Импульсная пневматика			Холостой патрон	
	ГПМ-54 (Украина– Россия)	SPOT-55 (Чехия)	МТЛБ (Украина)	Т-119 (Китай)	5-ствольная порошковая (Украина)	ИФЕХ- Леопард (Германия)	Водомер Т-55 (Россия)	Ветлуга (Россия)	Импульс-3М/ПЗКРВЗ (Украина)
$M_{\text{общ}}$, т	43	42,5	40	18	38	45	43	25	36/21,6
$L_{\text{туш}}$, м	15–20	50	15–20	35	35	45	40	50	80–120
$V_{\text{под}}$, кг/с	40	2 × 70	40	60	20	20	20	30	20–200
$S_{\text{туш}}$, м ²	180–200	300–400	200–250	150	350	1500	1500	250–300	2000–3000
$M_{\text{ОС}}$, т	9 + + 1,5 м ³ пена + + 0,3 м ³ ОПС	11,8 + + 1,8 м ³ пена + + 0,5 м ³ ОПС	10	5	9	10	10	330	1000–1250
Огнетушащий состав	Вода очищенная и с пенообразователем				Порошок	Вода очищенная и с пенообразователем		Порошок	Вода, раствор, гели вязкие, порошки, песок, грязь, пыль
Время переза- ряжания, мин	60	60	25	25	160	35	30	25	35
Стоимость, тыс. долл.	110	390	145	120	350	1200	250	200	100/200
Характерис- тики	Ограниченное применение пожарными из-за сочетания низких ТТХ: тяжелы, маломаневренны, мало- эффективны, сложны в управлении. Маловероятно тушение развитых пожаров, особенно в труднодо- ступных зонах из-за больших удельных расходов ОС, малой дальности тушения, отсутствия систем защиты экипажа (демонтированных с целью увеличить возимый запас ОС). Дороги в производстве и работе. Сложности тушения и длительное перезаряжание. Ремонт только у высококвалифицирован- ных специалистов от фирмы-изготовителя				Порошок		Малоэффективное рас- залповое рас- пыление, малая дальность, низ- кая эффектив- ность тушения		Тушение с безопасной дистанции. Автоном- ная длительная работа в безводной местности, зонах катастроф. Об- легченное, маневрен- ное шасси
П р и м е ч а н и е. $M_{\text{общ}}$ $M_{\text{ОС}}$ — масса соответственно общая и ОС; $V_{\text{под}}$ — скорость подачи ОС; $L_{\text{туш}}$, $S_{\text{туш}}$ — дальность и площадь тушения.									

- при распылении из каждого ствола по 10 кг воды — дальность подачи до 75 м, ширина фронта огнетушащего потока от 1,5 до 15 м, площадь сбития пламени с возможными повторными воспламенениями до 750–800 м², площадь окончательного тушения до 400–500 м².

Перезарядка и возимый запас контейнеров — 50 контейнеров в каналах стволов и 50 контейнеров запасных в стеллажах, а также от 200 до 1000 компактных гильзовых распылительных зарядов в стеллажах для распыления из стволов природных материалов после окончания запаса контейнеров. Перезарядка природными материалами осуществляется путем их непосредственной засыпки в каналы стволов, для чего стволы поднимаются вверх под углом не менее 20°. Распылительные заряды с иницирующим устройством состоят из картонной гильзы, заполненной зарядом штатного пороха, электровоспламенителя или штатной электрокапсюльной втулки.

Новые пожарные машины ПЗКРВЗ “Шквал-50” могут комплектоваться универсальными ручными распылителями для защиты машин от возгораний при сильном тепловом воздействии или использовании демонстрантами бутылок с зажигательной смесью, для дотушивания локальных повторных возгораний после залпового тушения. Распылители применяются экипажем ПЗКРВЗ для решения следующих задач:

- 1) тонкодисперсное распыление жидкостей и гелей в радиусе до 12 м для тушения горящих твердых материалов. Впервые одним распылением за 1 с тушится очаг горящего дерева 0,1А площадью 1,1 м² после 6 мин свободного горения;
- 2) тушение локальных очагов лесных пожаров экологически чистыми природными материалами — песком, грунтом, грязью, пылью, водой, снегом в радиусе до 25 м по горизонтали и до 14 м в высоту;
- 3) осаждение и дезактивация токсичных облаков вокруг машины;
- 4) распыление сорбентов на расстояние до 10 м для локализации разливов нефти на воде;
- 5) распыление гелей на расстояние до 15 м для локализации радиоактивной пыли на машине;
- 6) тушение поджогов машины, например от бутылок с зажигательными самовозгорающими

смесями, широко применяемыми демонстрантами и террористами.

Масса распылителя — 5,6 кг в заряженном состоянии. Комплектуется рюкзаком с 10 контейнерами общей массой 11 кг. Перезарядка производится за 3–5 с контейнерами в виде однолитровых пластиковых легких бутылок, содержащих распылительные патроны (холостые), огнетушащие жидкости, гели, пенообразователи, порошки и многие природные материалы. Полностью безопасен при эксплуатации. Характеризуется высокой эффективностью, стабильностью и безотказностью работы при температурах от минус 40 до +40 °С, любой влажности, запыленности, загрязнения.

Огнетушащие возможности. Один традиционный огнетушитель массой от 16 до 21 кг, содержащий 10 кг порошка или воды, способен реально потушить от 3 до 6 м кромки низового лесного пожара или до 5 м² горящей травы или низкого кустарника. К горящим кустам кустарника высотой более 0,5–1,0 м и тем более к отдельному горящему дереву с таким огнетушителем (малого радиуса распыления) невозможно подступить. Кроме того, после тушения его надо везти на станцию перезарядки. Реальный радиус переноски вручную от автомашины — до 100 м. При использовании взрывчатых веществ для прокладки 1 м минерализованной полосы или тушения кромки пожара нужно не менее 1,2 кг тротила.

Распылитель ПРИВ с 10 контейнерами способен потушить до 50 м кромки низового пожара и до 20 м² горящей площади в радиусе до 500 м. Распылитель обеспечивает автономную (при носимом запасе холостых патронов массой 15–25 г) длительную работу в радиусе до нескольких километров, с многократным тушением множества локальных очагов лесного пожара на большой территории, включая труднодоступные участки (холмы, горы, ущелья, тайга, степь, джунгли), к которым практически нет доступа для автотранспорта и поэтому там невозможна работа с тяжелыми и громоздкими огнетушителями.

И последнее. Возможности организации производства в России, на Украине и за рубежом реальны, если их осуществлять на работающих заводах оборонного комплекса, изготавливающих РСЗО, минометы, артиллерию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кимстач И. Ф., Девлишев П. П., Евтюшкин Н. М. Пожарная тактика. — М. : Стройиздат, 1984. — 590 с.
2. Пожарная техника. Каталог-справочник. — М. : ЦНИИТЭ; Строймаш, 1988. — 250 с.
3. Щербак Ю. Пожарные танки боятся огня // Газета по-киевски. — 29.08.2008 г. — № 196 (1294).
4. Пожарная энциклопедия. — М., 2009. — 569 с.

5. Захматов В. Д., Шкарабура М. Г. Нова техніка гасіння пожеж на нафтогазових об'єктах // Нафтова і газова промисловість. — 1996. — № 1. — С. 52–56.
6. Холдинговая компания “АвтоКрАЗ”: рекламный проспект. — Киев–Кременчуг, 2012. — 26 с.

Матеріал поступив в редакцію 27 марта 2013 г.

English

HISTORY AND PERSPECTIVES FOR DEVELOPMENT FIRE MACHINES AT MILITARY CATERPILLAR AND WHEEL CHASSIS

ZAKHMATOV V. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Telecommunications and Global Information Space of Ukraine Academy of Sciences (Chokolovskiy Parkway, 13, Kiev, 03186, Ukraine; e-mail address: zet.pulse@gmail.com)

ABSTRACT

In the article of history of fire machines, mounted at military wheel and caterpillar chassis are described. There were defined specifically features of these fire-machines for fire-fighting at explosive able objects and at hard-to-reached areas of consequences of emergencies — accidents and catastrophes. It is necessary to consider these features in models of new improve object. The variant of supporting pulsed fire and explosion protection multibarrels module, mounted at chassis of heavy truck was considered in the article. There draw up comparison table, illustrate the not small advantages of new fire-machines with the help of pulse means in different variants of the accident development. There were made conclusions according to practical implementation of the pulse fire-machines and study's perspectives.

Keywords: multibarrels module; pulse extinction and protection systems; caterpillar and wheel chassis; fire and explosion protection; combine, flexible control pulse extinguishing.

REFERENCES

1. Kimstach I. F., Devlishev P. P., Evtushkin N. M. *Pozharnaya taktika* [Fire tactic]. Moscow, Stroyizdat, 1984. 590 p.
2. *Pozharnaya tekhnika. Katolog-spravochnik* [Fire-technics. Reference book]. Moscow, TsNIITE, Stroy-mash Publ., 1988. 250 p.
3. Shcherbak Yu. Pozharnyye tanki boyatsya ognya [Fire-tank afraid fire]. *Gazeta po-kiyevski — Newspaper on Kiev*, 29.08.2008, no. 196(1294).
4. *Pozharnaya entsiklopediya* [Fire encyclopedia]. Moscow, 2010. 569 p.
5. Zakhmatov V. D., Shkarabura M. G. Nova tekhnika gasinnya pozhezh na naftogasovikh ob'yektakh [New fire-technique at oil-gas objects]. *Naftova i Gazova promislovist — Oil & Gas*, 1996, no. 1, pp. 52–56.
6. *Kholdingovaya kompaniya “AvtoKrAZ”: reklamnyy prospect* [AvtoKraz holding company. Fair brochure]. Kiev–Kremenchug, 2012. 26 p.

М. В. АЛЕШКОВ, канд. техн. наук, доцент, академик НАНПБ, заместитель начальника по научной работе Академии ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: info@academygps.ru)

К. П. КУЗЬМЕНКО, канд. техн. наук, заместитель технического директора ЗАО "АРТСОК" (Россия, 142301, Московская обл., г. Чехов, Вишневый б-р, 8)

В. П. ИНЧИКОВ, начальник проектного бюро ЗАО "АРТСОК" (Россия, 142301, Московская обл., г. Чехов, Вишневый б-р, 8; e-mail: artsok@artsok.com)

УДК 614.844

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ УСТАНОВОК ГАЗОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Представлен анализ экспериментальных данных, полученных по результатам полномасштабных огневых испытаний автоматических установок газового пожаротушения (УГП), в том числе экспериментальные данные по снижению температуры на защищаемом объекте при выпуске диоксида углерода из УГП. Затронуты проблемы применения УГП на базе МИЖУ для противопожарной защиты объектов электроэнергетики, в частности для защиты силового оборудования на открытых площадках.

Ключевые слова: электроэнергетика; диоксид углерода; автоматическая установка газового пожаротушения; пожаробезопасность.

Быстрый рост энергопотребления в нашей стране приводит не только к ускоренному развитию энергетики, но и к повышению актуальности проблем, связанных с обеспечением пожарной безопасности электроустановок.

Пожарная опасность электрооборудования в основном обусловлена наличием в них большого количества горючих материалов вместе с источниками воспламенения, образующимися в результате перегрузок, коротких замыканий, внутренних повреждений трансформаторов, воспламенения горючих жидкостей при попадании на горячие поверхности технологического оборудования.

Наиболее пожароопасными объектами в энергетике являются: маслонаполненное электрооборудование, кабельные сооружения, маслосистемы турбоагрегатов, маслобаки и т. д. Среди перечисленного оборудования необходимо выделить силовые масляные трансформаторы, которые наиболее подвержены возгораниям. Только в Московском регионе в течение последних нескольких лет зарегистрированы пожары на силовых трансформаторах, эксплуатировавшихся на ТЭЦ-26, ТЭЦ-27 "Северная" ОАО "Мосэнерго" и т. п.

В настоящее время для защиты масляных силовых трансформаторов применяются в основном автоматические установки водяного пожаротушения различных модификаций. Статистика пожаров по-

казывает, что существующие стационарные системы пожаротушения не ликвидируют горения в начальной стадии пожара, что локализация и тушение огня обеспечиваются пожарными подразделениями. Необходимо отметить, что при одной и той же продолжительности боевого развертывания пожарных подразделений время до начала тушения пожара на объектах электроэнергетики значительно выше по сравнению с объектами, пожары на которых не связаны с электроустановками [1]. К тому же наличие соседних электроустановок под напряжением существенно влияет на безопасность работы пожарных.

В связи с этим возникает необходимость внедрения новых средств и способов противопожарной защиты на объектах энергетики, лишенных ряда недостатков существующих систем.

Анализ установок противопожарной защиты показывает, что для объектов электроэнергетики в наибольшей степени подходят установки газового пожаротушения (УГП) с использованием в качестве газового огнетушащего вещества диоксида углерода CO_2 , способные не только ликвидировать пожар в начальной стадии, но и предотвратить повторное воспламенение. Кроме того, УГП на основе CO_2 в силу теплофизических свойств последнего применяются для защиты не только помещений, но и тех-

Таблица 1. Снижение температуры ΔT на объекте после выпуска диоксида углерода

№ п/п	Характеристика объекта	Тип модуля в УГП	Объект измерения	Способ пожаротушения	ΔT , °C
1	Помещение с электроникой объемом 40,5 м ³	МГП-16-80	Воздух в помещении	Объемный	19
2	Отсек газотурбинного двигателя объемом 18 м ³	МГП-16-100	Корпус ГТД	То же	45
3	Резервуар вертикальный стальной РВС-2000	МИЖУ-16/2.2	Стенка резервуара	Поверхностный	78
4	Резервуар вертикальный стальной РВС-5000	МИЖУ-16/2.2	То же	То же	86
5	Трансформатор ТДЦ-400000/220	МИЖУ-16/2.2	Стенка трансформатора	Локальный	75
6	Помещение с резинотехническими изделиями (автомобильными шинами) объемом 740 м ³	МИЖУ-5/2.2-АП	Воздух в помещении	Объемный	124

нологического оборудования, расположенного на открытых площадках [2].

Механизм тушения CO₂ основан на снижении объемной концентрации кислорода до значения, при котором процесс горения прекращается, и на охлаждении не только зоны горения, но и защищаемого оборудования.

В табл. 1 представлены экспериментальные данные по снижению температуры на защищаемом объекте при выпуске диоксида углерода из УГП.

Анализ результатов натурных экспериментов, представленных в табл. 1, свидетельствует о следующем:

- во-первых, при подаче CO₂ всегда происходит снижение температуры не только воздушной среды, но и оборудования, подвергающегося воздействию пламени;
- во-вторых, охлаждающий эффект в большей степени проявляется при выпуске диоксида углерода из модуля изотермического для жидкого диоксида углерода (МИЖУ), чем из модуля высокого давления МГП;
- в-третьих, чем выше температура окружающей среды в момент начала выпуска CO₂ из УГП, тем больше эффект охлаждения;
- в-четвертых, снижение температуры окружающей среды защищаемого объекта прямо зависит от продолжительности выпуска диоксида углерода.

Отмеченные свойства пожаротушения жидким диоксидом углерода учтены при масштабном распространении УГП с CO₂ на объектах ОАО “Газпром”, ОАО “АК “Транснефть”, ОАО “Новатэк”, ОАО “Лукойл”, АЭС и других отраслей промышленности.

Важной особенностью диоксида углерода являются его диэлектрические свойства, которые позволяют применять его в качестве ГОТВ для защиты объектов энергетического комплекса, трансформа-

торных подстанций и другого оборудования под напряжением.

Несмотря на положительный опыт эксплуатации установок газового пожаротушения, существует ряд факторов, сдерживающих более широкое внедрение и развитие данного направления пожаротушения для объектов топливно-энергетического комплекса страны:

- в настоящее время рекомендована к применению только методика гидравлического расчета установки углекислотного пожаротушения низкого давления на основе изотермических резервуаров;
- отсутствует методика гидравлического расчета установок углекислотного пожаротушения высокого давления на основе модулей газового пожаротушения;
- наблюдается расхождение экспериментальных данных с расчетными значениями, полученными с помощью существующей методики;
- инерционность подачи CO₂ ограничивается временем, равным 15 с;
- само понятие инерционности для установок газового пожаротушения носит декларативный характер.

Выполнение гидравлических расчетов при проектировании объектов защиты до настоящего времени остается весьма сложным и трудоемким процессом [3, 4]. В основном расчеты производятся по методике гидравлического расчета установок углекислотного пожаротушения на основе модулей изотермических [2] или по компьютерным программам, основанным на методиках, разработанных производителями оборудования газового пожаротушения.

Методика, представленная в [2] для изотермических резервуаров, является полумпирической и описывает в большей степени установившийся квазистационарный процесс. Однако движение CO₂ происходит в виде газожидкостной смеси с весьма

сложными явлениями, возникающими при течении двухфазной среды по разветвленному трубопроводу. Поэтому многие аналитические выражения, принятые в методике гидравлического расчета, не учитывают реальные процессы, происходящие в конкретной установке при выпуске диоксида углерода.

Вопрос достоверности полученных расчетных данных становится особенно актуальным при расчете АУГП силового электрооборудования. Это объясняется тем, что пожары, возникающие на силовых трансформаторах, характеризуются высокой скоростью распространения тепловой радиации, что ведет к быстрому разрушению агрегата и несущих конструкций укрытия. В связи с этим одним из решающих факторов эффективного применения УГП, например, для защиты отдельно стоящего силового трансформатора является соответствие времени подачи требуемой массы CO_2 в защищаемую зону полученному при гидравлическом расчете фактическому времени подачи. Увеличение времени подачи CO_2 особенно критично именно для локального по объему пожаротушения, которое в отличие от объемного сопровождается не только естественным оседанием газа и диффузией в окружающую воздушную среду, но и уносом его из зоны горения сильными конвективными и ветровыми потоками.

Данный факт подтвержден результатами экспериментов по тушению макета оборудования, установленного вне помещения, УГП на базе двух МГП с вместимостью баллонов 100 л локальным по объему способом (рис. 1, слева). По результатам девяти испытаний было установлено, что в четырех экспериментах, в которых время выпуска CO_2 составляло 19–27 с, происходила полная ликвидация модельных очагов пожара (см. рис. 1, справа). В пяти экспериментах, в которых время выпуска CO_2 из УГП составляло от 34 до 43 с, модельные очаги пожара были потушены только частично.

Расхождение результатов расчета времени выпуска массы CO_2 по методике [2] с экспериментальными данными подтверждено многочисленными натурными испытаниями (табл. 2).

Другим сдерживающим фактором более широкого внедрения УГП на объектах топливно-энергетического комплекса является неопределенность в области проектирования УГП, связанная с понятием инерционности установки пожаротушения. В соответствии с [2] инерционность установки пожаротушения — это время с момента достижения контролируемым фактором пожара порога срабатывания чувствительного элемента пожарного извещателя до начала подачи огнетушащего вещества в защищаемую зону. Если с определением начала отсчета времени инерционности проблем почти нет, то с фик-



Рис. 1. Тушение УГП на базе двух МГП с вместимостью баллонов 100 л локальным по объему способом макета оборудования, установленного вне помещения

Таблица 2. Результаты испытаний УГП на базе МИЖУ

№ п/п	Длина магистрального трубопровода, м	Масса, кг, <u>выпускаемая</u> <u>расчетная</u>	Время выпуска, с, <u>фактическое</u> <u>расчетное</u>	Дата проведения испытаний
1	114	$\frac{9500}{7140}$	$\frac{132}{125}$	08.12.11
2	114	$\frac{6650}{3948}$	$\frac{60}{52}$	26.12.11
3	114	$\frac{6280}{3687}$	$\frac{57}{45}$	01.02.12
4	114	$\frac{4300}{1800}$	$\frac{43}{22}$	23.08.12
5	182	$\frac{5387}{2490}$	$\frac{54}{35}$	18.05.05
6	126	$\frac{8000}{5300}$	$\frac{93}{69}$	19.02.09
7	154	$\frac{39400}{21220}$	$\frac{71}{46}$	10.12.12

сацией момента начала подачи CO_2 в защищаемую зону возникают трудности.

Определение инерционности установки пожаротушения не вызывает затруднения применительно к водяным, пенным и порошковым установкам пожаротушения, в которых критерием начала подачи огнетушащего вещества из распылителей (спринклеров) является появление воды, пены или порошка в защищаемой зоне. Самым простым методом экспериментального определения инерционности таких систем является визуальный контроль.

Что касается установок газового пожаротушения, однозначно определить инерционность по моменту начала подачи ГОТВ, в том числе CO_2 , невозможно. В подтверждение этого на рис. 2 приведены кадры видеосъемки трех натурных испытаний УГП в момент начала подачи CO_2 . Длина магистральных трубопроводов данных установок составляет от 114 до 180 м.

Из рис. 2 видно, что после открытия запорно-пускового устройства (ЗПУ) МИЖУ воздух, нахо-

а



б



в



Рис. 2. Кадры видеосъемки трех различных натурных испытаний на 3, 6, 9 и 12-й секундах (слева направо) подачи CO_2 с момента открытия запорно-пускового устройства МИЖУ

дящийся в трубопроводе, резко сжимается и под давлением, созданным движением CO_2 по трубопроводу, выходит из насадков, захватывая с собой окалину и ржавчину и образуя “ржавое облако”. Через несколько секунд после этого визуально можно наблюдать появление и постепенное увеличение струи газа в виде расширяющегося конуса белого цвета, но фиксировать инерционность установки по появлению данного конуса и принимать его за критерий начала подачи CO_2 некорректно. Кроме того, невозможно визуально оценить фазовое состояние подаваемого вещества перед насадком.

Как отмечалось выше, движение диоксида углерода по трубопроводу представляет собой нестационарный газожидкостный поток [5, 6]. После срабатывания УГП в трубопровод начинает поступать преимущественно газовая фаза CO_2 , давление в трубопроводе при этом резко повышается, и дальше соотношение газовой и жидкой фаз меняется в сторону увеличения содержания последней. В определенный момент трубопровод заполняется жидкой фазой CO_2 , и только тогда установка переходит в эффективный режим тушения (рис. 3), что может быть принято за начало подачи CO_2 в защищаемую зону. Тогда инерционность можно трактовать как время полного заполнения трубопровода жидкой фазой CO_2 .

Как видно из рис. 3, давление перед насадком с момента открытия ЗПУ МИЖУ резко возрастает,

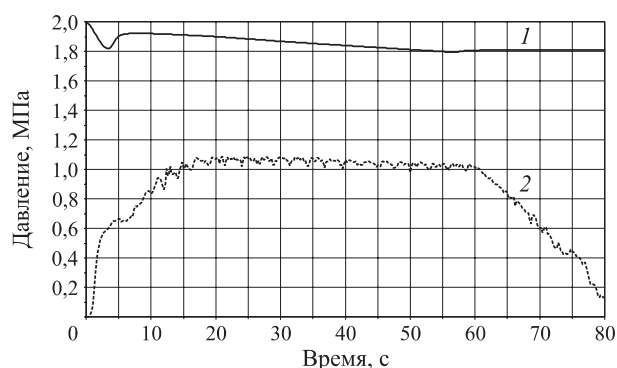


Рис. 3. Изменение давления внутри резервуара (1) и перед насадком (2) в системе, полученное при натурных испытаниях УГП на базе МИЖУ

что характерно для начала подачи газовой фазы. Затем скорость нарастания давления падает, что характерно для увеличения содержания жидкой фазы в трубопроводе. Однако граница полного заполнения трубопровода жидкой фазой размыта, поэтому давление не является однозначным и четким критерием начала подачи CO_2 в защищаемую зону.

СП 5.13130.2009 [2] дает определение инерционности установки пожаротушения, но в нем отсутствует как методика расчета этого параметра, так и конкретная информация по критериям его экспериментального определения. Таким образом, при разработке проектной документации на установку газового пожаротушения невозможно подтвердить ее

соответствие требованию нормативного документа в части инерционности установки пожаротушения.

Подобный вопрос часто возникает при прохождении проектной документацией различного рода экспертиз, в том числе государственной. Проблема связана с обоснованием соответствия параметров проектируемой системы требованиям, предъявляемым к инерционности УГП. В условиях отсутствия расчетных методик определения инерционности в нормативной документации проектным организациям весьма затруднительно аргументированно подтвердить время инерционности УГП.

Кроме того, СП 5.13130.2009 [2] жестко ограничивает инерционность временем не более 15 с. Для применяемых в настоящее время УГП на базе одного или нескольких модулей МИЖУ, когда подаваемая на тушение масса CO_2 измеряется тоннами и даже десятками тонн, а расстояние от станции газового пожаротушения до защищаемого объекта может достигать нескольких сотен метров, настоящее требование морально устарело и практически невыполнимо.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что понятие инерционности для установок газового пожаротушения носит декларативный, условный характер. Аргументированно подтвердить выполнение требований нормативной документации по величине инерционности невозможно вследствие отсутствия необходимых критериев оценки и методик расчета. В создавшейся ситуации логично было бы исключить из нормативной документации по установкам газового пожаротушения применение данного термина как самостоятельного. Инерционность установки (15 с) следует добавить к временному интервалу, за который установка должна

обеспечить подачу не менее 95 % массы ГОТВ, необходимой для создания нормативной огнетушащей концентрации в защищаемом объеме; при этом для УГП на базе изотермических резервуаров допустимая инерционность должна быть увеличена до 30 с. Для УГП на базе МИЖУ указанный временной интервал является ничем иным, как временем открытого состояния ЗПУ, которое легко поддается визуальному контролю и может быть однозначно определено по рис. 3 (кривая 2).

Решение затронутых в настоящей статье проблем расчета УГП открывает перспективу широкого применения подтвердивших свою эффективность УГП на базе МИЖУ для противопожарной защиты объектов электроэнергетики, в частности наружного силового оборудования.

Выводы

1. Показано, что время выпуска диоксида углерода из УГП, полученное по существующей методике гидравлического расчета установок газового пожаротушения, расходится с результатами натуральных испытаний.
2. На основе экспериментальных данных установлено, что наиболее чувствительными к точности расчетного определения времени выпуска CO_2 являются УГП, реализующие локальный по объему способ пожаротушения.
3. Отмечен декларативный характер понятия инерционности для установок газового пожаротушения и необходимость его доработки.
4. Предложено внести изменения в нормативные документы, касающиеся понятия “инерционность” применительно к установкам газового пожаротушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешков М. В., Пушкин Д. С., Колбасин А. А. Особенности развития и тушения пожаров на объектах электроэнергетики // Технологии техносферной безопасности. — 2010. — № 3 (31). URL : <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-3/09-03-10.ttb.pdf> (дата обращения: 19.07.2013 г.).
2. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 175; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 103 с.
3. Меркулов А. В., Меркулов В. А. Газовое пожаротушение. Подход к выбору и расчету установок газового пожаротушения // Противопожарные и аварийно-спасательные средства. — 2004. — № 1. — С. 30–35.
4. Меркулов А. В., Меркулов В. А., Мотов А. Н. Проектирование установок газового пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. — 2003. — Т. 12, № 3. — С. 74–79.
5. Цариченко С. Г., Пастон С. А., Пастон А. Р., Жаров С. А., Куянов А. В. Расчет времени выхода огнетушащего вещества под давлением газа-вытеснителя для систем газового пожаротушения на основе сжиженных газов // Пожарная безопасность. — 2007. — № 4. — С. 38–44.
6. Николаев В. М., Смирнов Н. В., Никонова Е. В., Копылов С. Н., Цариченко С. Г. Гидродинамические параметры течения двухфазных сред в трубопроводах установок газового пожаротушения // Пожарная безопасность. — 2006. — № 2. — С. 91–100.

Материал поступил в редакцию 5 августа 2013 г.

PERSPECTIVE OF USE OF GAS-EXTINGUISHING PLANT ON THE BASE OF CARBON DIOXIDE FOR FIRE EXTINGUISHING ON ELECTROENERGETICS FACILITIES

ALESHKOV M. V., Candidate of Technical Sciences, Academician of National Academy of Fire Science, Deputy Head on Scientific Work of State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail address: info@academygps.ru)

KUZMENKO K. P., Candidate of Technical Sciences, Deputy Technical Director, ZAO ARTSOK (ARTSOK, JSC) (Vishnevyy Parkway, 8, Moscow Region, Chekhov, 142301, Russian Federation)

INCHIKOV V. P., Head of Project Office, ZAO ARTSOK (ARTSOK, JSC) (Vishnevyy Parkway, 8, Moscow Region, Chekhov, 142301, Russian Federation; e-mail address: artsok@artsok.com)

ABSTRACT

Present article shows that use of gas-extinguishing plants (GEP) with carbon dioxide (CO₂) as gas extinguishing agent is most perspective for fire protection of electroenergetics facilities. Problems of use of GEP on the base of MIZhU for fire protection of electroenergetics facilities are touched, particularly, for power facilities' safety on open space. It is shown that discharging time of carbon dioxide, calculated with existing hydraulic calculation method, differs from natural tests' results. Based on experimental data, it is determined that effectiveness of local by volume fire extinguishing method mostly depends on computational accuracy of discharging time of carbon dioxide. Accentuated declarative type of lag's conception for gas-extinguishing plant. Proposal to amend regulations, concerning conception "lag" with regard to gas extinguishing plant, are stated.

Keywords: electroenergetics; carbon dioxide; automatic extinguishing plant; fire safety.

REFERENCES

1. Aleshkov M. V., Pushkin D. S., Kolbasin A. A. Osobennosti razvitiya i tusheniya pozharov na obyektakh energetiki [Features of development and suppression of fires on objects of power]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti — Technosphere Security Technology*, 2010, vol. 31, no. 3. Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-3/09-03-10.ttb.pdf> (Accessed 19 July 2013).
2. *Set of Rules 5.13130.2009. Systems of fire protection. Automatic fire-extinguishing and alarm systems. Designing and regulations rules*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 103 p. (in Russian).
3. Merkulov A. V., Merkulov V. A. Gazovoye pozharotusheniye. Podkhod k vyboru i raschetu ustanovok gazovogo pozharotusheniya [Gas-extinguishing. Approach to selection and calculation of gas-extinguishing plants]. *Protivopozharnyye i avariyno-spasatelnyye sredstva — Fire-Fighting and Search-and-Rescue Products*, 2004, no. 1, pp. 30–35.
4. Merkulov A. V., Merkulov V. A., Motov A. N. Proektirovaniye ustanovok gazovogo pozharotusheniya [Design of firefighting equipment for gas]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2003, vol. 12, no. 3, pp. 74–79.
5. Tsarichenko S. G., Paston S. A., Paston A. R., Zharov S. A., Kuyanov A. V. Raschet vremeni vykhoda ognetushashchego veshchestva pod davleniyem gaza-vytesnitelya dlya sistem gazovogo pozharotusheniya na osnove szhizhennykh gazov [Calculation of time of gas extinguishing agent's outlet under gas-displacer pressure for gas-extinguishing systems on the base of liquid gases]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2007, no. 4, pp. 38–44.
6. Nikolaev V. M., Smirnov N. V., Nikonova E. V., Kopylov S. N., Tsarichenko S. G. Gidrodinamicheskiye parametry techeniya dvukhfaznykh sred v truboprovodakh ustanovok gazovogo pozharotusheniya [Hydrodynamical characteristics of two-phase medium's current in pipe lines of gas-extinguishing plants]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2006, no. 2, pp. 91–100.

С. Ю. СЕРЕБРЕННИКОВ, д-р техн. наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский просп., 29)

К. В. ПРОХОРЕНКО, коммерческий директор ООО "ИВЦ Техномаш" (Россия, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 21; e-mail: pkv@perm.ru)

С. В. ЧЕРНОВ, аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский просп., 29)

М. Б. ГРУБИЯН, соискатель Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский просп., 29)

УДК 614.844.1

ТУШЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ТВЕРДЫХ РАКЕТНЫХ ТОПЛИВ АЭРОЗОЛЬНО-ПОРОШКОВЫМ МЕТОДОМ

Предложена физико-химическая модель тушения высокоэнергетических металлизированных твердых ракетных топлив (ТРТ) и взрывчатых веществ (ВВ); экспериментально обоснована эффективность аэрозольно-порошкового способа тушения данных продуктов.

Ключевые слова: внештатная детонация; загорание; твердое ракетное топливо (ТРТ); взрывчатое вещество (ВВ); способ тушения; аэрозоль; огнетушащий порошок; дисперсность.

Физическая картина тушения взрывчатых веществ и твердых ракетных топлив

Как известно, взрывчатые вещества (ВВ) и твердые ракетные топлива (ТРТ) в своем составе имеют молекулы горючего и окислителя, поэтому они могут гореть без кислорода воздуха. Потушить их традиционными способами практически невозможно, особенно быстрогорящие заряды, в состав которых входят металлические добавки (алюминий Al, магний Mg и др., аммонал, аммонит, смесевые высокоэнергетические ТРТ и т. п.). Способ тушения их высоконапорными водяными струями ненадежен и малоэффективен из-за недостаточной скорости отвода тепла с поверхности горения шашки или заряда [1]. К тому же он основывается только на эффекте охлаждения зон горения, а других факторов тушения не обеспечивает. Из-за сравнительно низкой скорости подачи довольно крупных капель воды не подключается механизм испарения жидкости, что могло бы повысить теплоотвод и эффективность тушения.

Более перспективным представляется способ тушения ВВ и ТРТ мелкодисперсными огнетушащими порошками, у которых, как известно, присутствуют три фактора огнеподавления [2]:

- охлаждение зоны горения за счет нагревания и разложения (испарения) частиц порошка;
- гетерогенное ингибирование реакций горения за счет взаимодействия активных частиц пламени (АЧП) типа H, O, OH с химически пассивной "стенкой", создаваемой порошком;

- гомогенное ингибирование реакций горения продуктами разложения (испарения) твердых частиц, т. е. химическое взаимодействие выделяемых порошком газов с АЧП.

Все эти процессы значительно интенсифицируются при уменьшении дисперсности порошка и увеличении скорости его подачи на горящую поверхность [2].

Был проведен ряд экспериментов по тушению баллистических и смесевых ТРТ стандартными 5-литровыми огнетушителями с закачной системой вытеснения порошка сжатым под давлением 1,0...1,5 МПа воздухом.

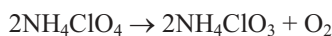
Эффект был достигнут только при тушении образцов медленногорящих неметаллизированных ТРТ при максимальной скорости подачи под давлением 1,5 МПа специально отсортированной тонкой фракции порошка Вексон-АВС с размерами частиц 20...50 мкм. Попытки тушения высокоэнергетических ТРТ и аммонала этими же огнетушителями оказались неудачными (рис. 1).

Для выявления и устранения причин неэффективного тушения ТРТ водой и огнетушащим порошком рассмотрим картину газообразования на поверхности ТРТ в момент воспламенения и химические реакции. Наиболее типичным по составу высокоэнергетическим ТРТ является смесевое топливо: 65 % ПХА (перхлорат аммония NH_4ClO_4); 15 % горючей связки (каучук + эпоксидная смола); 20 % алюминия. На рис. 2 графически представлен начальный период воспламенения и горения шашки из такого ТРТ. Основным источником кислорода здесь ПХА.



Рис. 1. Повторное возгорание образца металлизированного ТРТ после тушения огнетушащим порошком Вексон-АВС

Согласно известным реакциям разложения [3]



и далее с постепенным разложением $2\text{NH}_4\text{ClO}_3$ до $2\text{HCl} + 3\text{O}_2$.

Очевидно, что разложение и горение связки и частиц АІ будут происходить неравномерно и прежде всего вблизи центров ПХА, т. е. там, где максимальная концентрация кислорода. При этом будут образовываться каверны 4 как между ПХА и связкой, так и между связкой и частицами АІ. В этом процессе частицы АІ достаточно эффективно вырываются из образовавшихся каверн, в результате чего образуется поверхность горения, иссеченная многочисленными мелкими трещинами и углублениями, в которых тушение возможно только с применением мелкодисперсного тушащего вещества.

На рис. 3 представлена картина тушения смешанного ТРТ стандартным огнетушащим порошком или

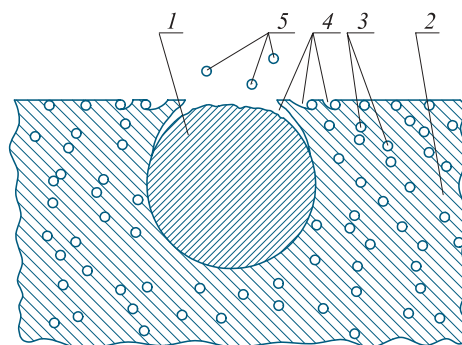


Рис. 2. Характер выгорания поверхности ТРТ в начальный момент воспламенения: 1 — частица ПХА; 2 — связка; 3 — алюминий; 4 — каверны при выгорании связки и алюминия вблизи частиц ПХА; 5 — вырвавшиеся горящие частицы АІ

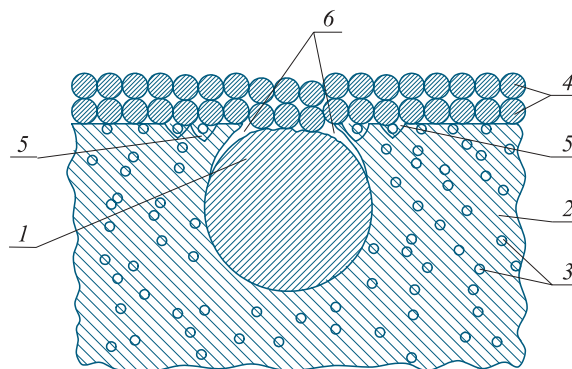


Рис. 3. Характер тушения смешанного ТРТ стандартным огнетушащим порошком или мелкодисперсной водой: 1 — частица ПХА; 2 — связка (каучук + эпоксидная смола); 3 — алюминий; 4 — частицы порошка (капли воды); 5 — зоны горения связки и алюминия, изолированные от кислорода ПХА порошком; 6 — глухие зоны (микрокаверны), способствующие распространению горения в глубь ПХА и связки

водой с размером частиц более 50 мкм. Как видно из рисунка, тушение такого ТРТ стандартными водяными и порошковыми установками невозможно. Горение зон 5 вначале, вероятно, будет потушено, но зоны 6 будут интенсивно гореть, расширяться и за счет создаваемого давления сбросят слой тушащего вещества с поверхности топлива, освобождая доступ кислорода ПХА к зонам 5 и далее по всей поверхности шашки ТРТ.

Эффективным тушащим веществом, которое проникало бы в мелкие каверны, может быть аэрозольно-порошковая смесь, состоящая из мельчайших твердых частиц аэрозоля (0,1...20 мкм), огнетушащего порошка с размером частиц 20...300 мкм и газовой составляющей (CO , CO_2 , H_2O , N_2) с размером частиц менее 10 нм.

Именно в таком составе тушащее вещество, подаваемое под высоким давлением со скоростью 200...250 м/с, может обеспечить проникновение в любую точку кавернозной (пористой) поверхности твердого топлива и, вступив в реакции с активными частицами пламени О, ОН, Н, обеспечить надежное

тушение первичного загорания поверхности ВВ или ТРТ. Основную роль здесь будут играть наиболее мелкие частицы аэрозоля и порошка: они быстрее всего нагреваются, испаряются и обеспечивают как механическое охлаждение зон горения, так и гетерогенное и гомогенное ингибирование реакций горения, особенно внутри мелких каверн.

Экспериментальные исследования аэрозольно-порошкового способа тушения ВВ и ТРТ

Для решения существующей проблемы по госзаказу ФГУП “ЦНКБ” (г. Москва) на предприятиях ОКБ “Темп” Пермского национального исследовательского политехнического университета и ООО “ИВЦ Техномаш” при участии ФКП “Пермский пороховой завод” был проведен ряд экспериментов по тушению различных марок ТРТ и ВВ импульсными аэрозольно-порошковыми модулями типа ОПАН [2] производства “ИВЦ Техномаш”.

Особенностью этих модулей является высокое быстродействие при подаче сигнала об обнаружении загорания от автоматики на пиропатрон запуска. Выброс первой порции огнетушащего вещества (ОТВ) — смеси аэрозоля и порошка происходит при давлении 1,8...2,0 МПа за время менее 0,3 с. Необходимое давление в емкости с огнетушащим по-

рошком создается за 0,2 с газогенератором с быстрогорящим аэрозольным составом ПТ-4 (разработка ФЦДТ “Союз”, г. Люберцы). Максимальная скорость двухфазного потока аэрозольно-порошковой смеси достигает 220...250 м/с.

Состав аэрозольно-порошковой смеси модуля ОПАН-25, состоящей из 20 кг аммофоса и 0,3 кг аэрозоля, представлен в табл. 1.

Конденсированная фаза ОТВ модуля ОПАН-25 в дисперсном отношении представляет собой смесь

Таблица 1. Состав огнетушащего вещества модуля ОПАН-25

Состав	Содержание компонента, %	
	в газогенераторе	в аэрозольно-порошковой струе
H ₂ O	8	0,12
N ₂	14	0,2
CO	41	0,6
CO ₂	17	0,25
K ₂ CO ₃ канд.	20	0,33
Аммофос NH ₄ H ₂ PO ₄	—	98,5

Таблица 2. Дисперсный состав твердой фазы ОТВ модуля ОПАН-25*

Состав	Размер частиц, мкм	Состав твердой фазы ОТВ, %
K ₂ CO ₃ (100 %)	0,1...5	10...15
	5...20	60...70
	20...50	20...25
Аммофос (100 %)	20...50	5...10
	50...100	25...30
	100...150	30...35
	150...300 и более	30...35

* Результаты получены визуально микроанализом осевших частиц порошка и конденсата в полужамкнутом объеме V = 0,5 дм³.

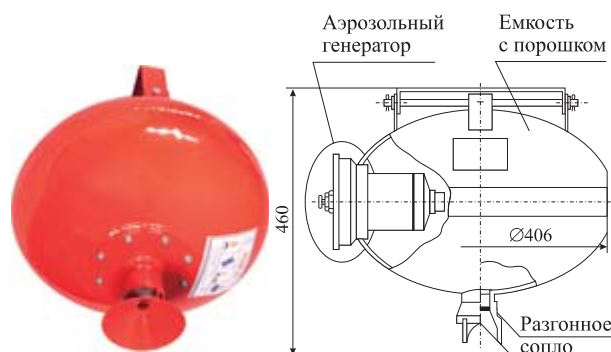


Рис. 4. Внешний вид и разрез модуля ОПАН-25



Рис. 5. Внешний вид и момент испытаний автоматической установки тушения образцов ТРТ



Таблица 3. Образцы ТРТ и ВВ для испытаний

№ п/п	ТРТ, ВВ	Тип	Вид шашки, заряда, габаритные размеры, мм
1	НДП-5А	Баллиститное, низкоэнергетическое	Торцевик, 57×0×80
2	НБГ-8, РНДСИ-5К	Баллиститное, быстрогорящее	Канальные, всестороннего горения, 40×10×110
3	ПТ-4	Баллиститное, быстрогорящее	Моношашка всестороннего горения, 180×0×40
4	ПД 17/18	Смесевое (АI — 18 %)	Моношашка всестороннего горения, 40×0×60
5	Аммонал	Аммонал-200 (ГОСТ 21984–76)	Пакетированный насыпной: АI + NH ₄ NO ₃ (10 пакетов аммонала-200 в картонной коробке)

твердых частиц K₂CO₃ и аммофоса различных размеров, взвешенных практически равномерно в газовом потоке (табл. 2).

Внешний вид модуля ОПАН-25 и чертеж в разрезе представлены на рис. 4.

Для испытаний на образцах ТРТ была разработана автоматическая установка с использованием модуля ОПАН-25 и комплекса приборов серии “Болид” с датчиками ИК-излучения, в состав которой входят:

- два датчика “Спектрон-110”;
- контроллер С-2000 АСПТ;
- прибор пусковой С-2000КПБ;
- линии кабельной связи;

- система дистанционного электрического пироподжига образцов (СЭПО) ТРТ.

Внешний вид данной установки и момент испытаний представлены на рис. 5. В качестве образцов для тушения были использованы различные составы ТРТ и ВВ (табл. 3).

Расположение ОПАН-25 и образцов ТРТ с пороховыми электрозапалами, а также результаты автоматического срабатывания аэрозольно-порошкового модуля ОПАН-25 и процесс тушения представлены на рис. 6.

В первых экспериментах автоматика включения модуля ОПАН-25 срабатывала на вспышку навески пороха (СЭПО) за время менее 0,1 с, в связи с чем сами образцы практически не обгорали. Для усложнения условий тушения в программу автоматики вводилась задержка включения модуля ОПАН-25 от 0,5 до 1,5 с. Это позволило получать прогар поверхностей топлива на глубину до 2,5 мм. Во всех экспериментах было получено 100 %-ное тушение образцов ТРТ как на торцевых, так и на боковых и канальных поверхностях.

Проверка возможности тушения ВВ аэрозольно-порошковой струей проводилась на пакетированном аммонале-200 (в стандартной картонной коробке, укомплектованной 10 шашками аммонала) с помощью аэрозольно-порошкового огнетушителя ОПАН-50М (ОП-40(г)) в ручном режиме. Ход эксперимента и положительные результаты показаны на рис. 7.

Предложенная физико-химическая модель тушения ВВ и ТРТ аэрозольно-порошковым методом была полностью подтверждена экспериментально.

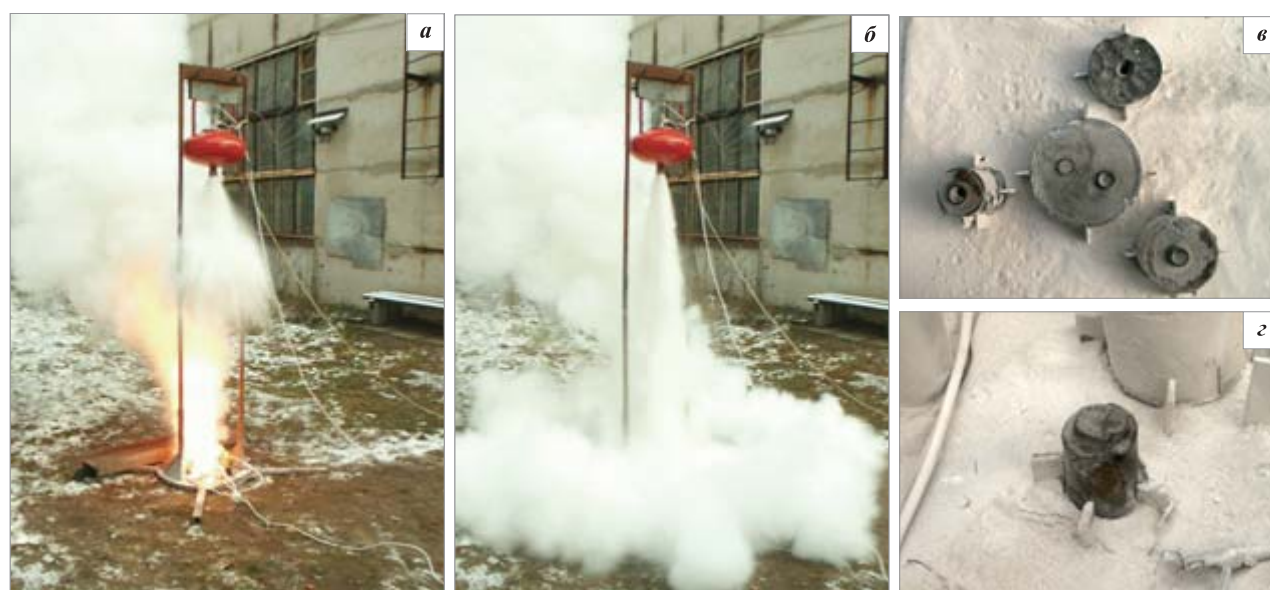


Рис. 6. Ход и результаты испытаний по тушению образцов ТРТ: а — $\tau = 1,5$ с, интенсивное горение образцов в момент включения модуля ОПАН-25 после запланированной задержки срабатывания автоматики; б — $\tau = 2,0$ с, начало тушения образцов ТТ; в — вид сверху на потушенные образцы; г — внешний вид потушенного образца ПД 17/18 после очистки от порошка



Рис. 7. Тушение аммонала-200 аэрозольно-порошковым огнетушителем ОПАН-50М (ОП-40(г)): *а* — до начала эксперимента; *б* — $\tau = 60$ с, интенсивное горение 10 пакетов аммонала-200 после розжига газовой горелкой; *в* — $\tau = 100$ с, начало тушения аэрозольно-порошковой струей огнетушителя ОПАН-50М; *г* — потушенные пакеты аммонала-200

На базе проведенных исследований вполне могут быть разработаны автоматические противопо-

жарные системы для защиты взрывоопасных производств и хранилищ изделий с ВВ и ТРТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аликин В. Н., Липанов А. М., Серебренников С. Ю., Соколовский М. И., Стрельников В. Н. Заряды народнохозяйственного назначения. Пороха, топлива, заряды. — М.: Химия, 2004. — Т. 2. — 204 с.
2. Аликин В. Н., Вахрушев А. В., Голубчиков В. Б., Липанов А. М., Серебренников С. Ю. Твердые топлива реактивных двигателей. Топлива. Заряды. Двигатели. — М.: Машиностроение, 2011. — Т. 4. — 380 с.
3. Серебренников С. Ю. Решение проблемы импульсного порошкового пожаротушения лежит “на поверхности” // Мир и безопасность. — 2011. — № 6. — С. 10–14.

Материал поступил в редакцию 3 сентября 2013 г.

English

AEROSOL-POWDER METHOD OF EXPLOSIVE SUBSTANCES AND SOLID PROPELLANTS EXTINGUISHING

SEREBRENNIKOV S. Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University (PNRPU) (Komsomolskiy Avenue, 29, Perm, 614990, Russian Federation)

PROKHORENKO K. V., Marketing Director, IVC Tekhnomash LLC (Akademika Koroleva St., 21, Perm, 614013, Russian Federation; e-mail: pkv@perm.ru)

CHERNOV S. V., Postgraduate Student, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolskiy Avenue, 29, Perm, 614990, Russian Federation)

GRUBIYAN M. B., Graduand, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolskiy Avenue, 29, Perm, 614990, Russian Federation)

ABSTRACT

Method of water-foam extinguishing of explosive substances (ES) and solid propellants (SP) at the emergency ignition or fulmination is not efficient due to high persistence, which causes huge economical, ecological and human losses, especially at a large production facilities and army arsenals.

Powder extinguishing method looks more promising, which besides cooling effect, just as water, has two additional fire suppression factors — inhibition of heterogeneous combustion reactions and homogeneous chemical interaction of powder decomposition fumes with active flame particles. This effect was confirmed experimentally but only on slow-burning butt ballistic cartridges. It was impossible to extinguish high-energy, mix SP and ES by standard powder fire extinguishers especially at their comprehensive burning.

To solve the problem physical-chemical model of initial period was developed of mix propellants of standard composition: 60 % ammonium perchlorate (APC); 20 % binding agent (caoutchouc + epoxy resin); 20 % Al. It was determined that at the moment of flash of the surface around APC particles (source of O₂) small caverns are formed in which combustible binding agent and Al burning is directed intensively deep into the propellant. Supply of fire extinguishing powder with dispersion of 50...300 μm succeeds to cover and extinguish flat surfaces but small caverns near APC centers covered with big powder particles flame up even more intensively in closed volume which leads to pressure increase and powder clearing off extinguished propellant surfaces.

Reliable extinguishing was achieved only with the use of aerosol powder mixture supplied with the rate of 200...250 m/s. Composition: 95 % standard fire extinguishing powder, 5 % fire extinguishing aerosol with dispersion of alkali metals salts 0.1...20 μm. This composition has provided aerosol condensate intrusion into all caverns including on side and channel surfaces of samples of different SP. The developed method showed a hundred percent result of extinguishing on eight SP compositions of different types and 10 samples of packaged ammonal-200.

Processes of manufacturing, storing and use of industrial and military explosive substances, and quick-burning solid propellants are rather well studied. At all stages of these substances handling there is a danger of their emergency fulmination or ignition.

To prevent such situations automatic high-pressure water systems of BAPS type were used in the Soviet Union during ES and SP manufacturing and storing.

At ES fulmination they could reduce damage of occurred fire, and at explosive substances and quick-burning solid propellants ignition in some case could extinguish them by strong water jets. The main disadvantage of BAPS was low operation speed at supply of large volume of water by pipes and sprayers and also threat of high-pressure water jets which could cut metal for articles equipped with ES and SP and especially service personnel.

These systems also acquired negative reputation from economic point of view due to low reliability, complex mounting, maintenance especially at low temperatures.

Due to the stated above water systems in the form of BAPS are very rarely used at present. They are replaced by simple drencher and sprinkler water units applied only as extinguishing means for package with highly explosive and flammable ES and SP items at warm warehouses and depots. They can not extinguish quick-burning solid-propellant cartridges and charges themselves.

Keywords: contingency denotation; ignition; solid propellant; explosive agent; fire extinguishment technique; condensed aerosol; dry chemical powder (DCP); particle size.

REFERENCES

1. Alikin V. N., Lipanov A. M., Serebrennikov S. Yu., Sokolovskiy M. I., Strelnikov V. N. Zaryady narodnokhozyaystvennogo naznacheniya. Porokha, topliva, zaryady [Charges of economic purposes. Powders, fuels, charges]. Moscow, Khimia Publ., 2004, vol. 2, 204 p.
2. Alikin V. N., Vakhrushev A. V., Golubchikov V. B., Lipanov A. M., Serebrennikov S. Yu. Tverdyye topliva reaktivnykh dvigateley. Topliva. Zaryady. Dvigateli [Solid propellants of jet engines. Fuels. Charges. Engines]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 2011, vol. 4, 380 p.
3. Serebrennikov S. Yu. Resheniye problemy impulsnogo poroshkovogo pozharotusheniya lezhit na "poverkhnosti" [Solving problem of pulse powder fire extinguishing is on "Surface"]. *Mir i bezopasnost — World and Safety*, 2011, no. 6, pp. 10–14.



Пенообразователи

Шторм

Точный расчет на безопасность!

РЕКЛАМА

Шторм-ОН — синтетический углеводородный пенообразователь общего назначения. Основная область применения: для нужд пожарных бригад в городах, для тушения лесов, деревянных строений, торфяников. Относится к биологически маловредным средствам (БИО). Срок годности пенообразователя до 5 лет, после чего необходимо либо проводить дополнительные исследования, либо использовать его для учений.

ГЕФЕСТ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 925 51 31

www.gefestnpk.ru

www.shtpena.ru



XIX Международный ФОРУМ® **Технологии Безопасности**



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



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



**АНТИТЕРРОР
ОХРАНА ГРАНИЦЫ
БЕЗОПАСНОСТЬ
НА ТРАНСПОРТЕ**



**ЗАЩИТА СВЯЗИ
И ИНФОРМАЦИИ
БИОМЕТРИЯ
СПЕЦТЕХНИКА**

**ПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА
ПОЖАРОТУШЕНИЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ
И ОХРАНА ТРУДА**

11–14.02.2014

КРОКУС ЭКСПО / МОСКВА

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

БЕСПЛАТНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ НА WWW.TBFORUM.RU



Организатор **Groteck**
Business Media

РЕКЛАМА

А. Я. ШАРШАНОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры специальной химии и химической технологии, Национальный университет гражданской защиты Украины (Украина, 61023, г. Харьков, ул. Чернышевская, 94)

Ю. А. АБРАМОВ, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Национальный университет гражданской защиты Украины (Украина, 61023, г. Харьков, ул. Чернышевская, 94)

А. А. КИРЕЕВ, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры специальной химии и химической технологии, Национальный университет гражданской защиты Украины (Украина, 61023, г. Харьков, ул. Чернышевская, 94; e-mail: kireev53@mail.ru)

УДК 614.84

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КАПЕЛЬ КОМПОНЕНТОВ ГЕЛЕОБРАЗУЮЩИХ ОГНЕТУШАЩИХ СИСТЕМ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБЛАСТИ

Проведено математическое моделирование поведения капель компонентов огнетушащих гелеобразующих систем при движении их через область горения. Рассмотрена задача об испарении капли водного раствора соли в горячей газовой среде. На основании разработанной модели оценен минимальный начальный размер капель, обеспечивающий надежное гелеобразование на обрабатываемых поверхностях. Осуществлено численное решение системы уравнений при помощи пакета прикладных программ MatLab. Проведено сравнение численных и аналитических результатов.

Ключевые слова: гелеобразующие огнетушащие системы; эффективность пожаротушения; математическая модель испарения капли раствора; дальность полета распыленной жидкости.

Постановка проблемы

Среди существующих огнетушащих средств наибольшее распространение получили жидкофазные огнетушащие вещества. Использование жидкофазных огнетушащих средств по объемам и частоте во много раз выше по сравнению со всеми остальными огнетушащими средствами. Это определяется комплексом свойств жидкостей. Жидкости в первую очередь имеют высокое охлаждающее действие, что обусловлено их высокой теплоемкостью и теплотой испарения. Жидкофазные огнетушащие составы являются единственными, с помощью которых возможно успешное тушение глубоколежащих слоев горящих веществ (пролив), в частности тлеющих материалов. А известно, что ликвидация горения тлеющих материалов является одной из самых сложных проблем в области пожаротушения [1]. Жидкости имеют также преимущества эксплуатационного характера: их удобно хранить и легко подавать в очаг пожара. До настоящего времени вода остается основным огнетушащим средством. Так, водой тушат более 80 % пожаров, водой со смачивателями — около 12 % [2]. Это объясняется наличием у воды уникального комплекса физико-химических свойств. Вода имеет высокую удельную теплоемкость и аномально высокую теплоту испарения. Это и обуславливает чрезвычайно высокое охлажда-

ющее действие воды. Кроме того, вода является доступным, дешевым и экологически безопасным веществом. Химические свойства воды также в большинстве случаев не препятствуют использованию ее в качестве огнетушащего средства.

Одним из существенных недостатков жидкостных огнетушащих веществ, в том числе воды, являются большие потери их за счет стекания при обработке вертикальных и наклонных поверхностей. В большинстве случаев при подаче воды компактными струями потери основного огнетушащего вещества — воды превышают 90 %. При подаче воды в распыленном состоянии потери за счет стекания существенно уменьшаются, однако увеличиваются потери из-за уноса мелких капель восходящими конвективными потоками.

Еще один недостаток жидкостных огнетушащих веществ — низкий теплосъем с нагретых поверхностей за счет эффекта пленочного кипения, но именно охлаждение твердых горящих поверхностей является необходимым условием прекращения горения твердых горючих материалов (ТГМ) [3].

Анализ публикаций

Ранее [4, 5] для повышения эффективности пожаротушения и оперативной огнезащиты были предложены огнетушащие и огнезащитные гелеобразу-

ющие системы (ГОС). Они представляют собой два отдельно хранящихся и отдельно-одновременно подаваемых состава. Первый состав является раствором гелеобразующего компонента, второй — раствором катализатора гелеобразования. При одновременной подаче этих растворов происходит их смешение на горящих или защищаемых поверхностях и взаимодействие между компонентами, приводящее к образованию стойкого геля. Гель образуется на поверхности нетекущий огнезащитный слой, надежно удерживающийся на вертикальных и наклонных поверхностях.

Преимущество ГОС перед водой заключается в существенном уменьшении потерь огнетушащего вещества за счет отсутствия стекания с наклонных и вертикальных поверхностей. Это позволяет не только уменьшить расход огнетушащих веществ, но и сократить убытки от залива нижележащих этажей.

Одним из условий успешного использования ГОС является подача его компонентов в распыленном виде. Максимальный диаметр капель компонентов ГОС не должен превышать 1,5 мм. Увеличение капель сверх этого размера ухудшает условия смешения компонентов, что становится причиной частичного стекания непрореагировавших жидкостей [6, 7]. С другой стороны, малый размер капель компонентов ГОС может привести к полному испарению всей жидкости из раствора или к преждевременной коагуляции гелеобразователя (полисиликата натрия) при прохождении их через область горения. При этом станет невозможным гелеобразование при смешении компонентов на твердых поверхностях. Вопрос о наименьшем размере капель компонентов ГОС, при котором последние сохраняют свои свойства, до настоящего времени не рассматривался.

Постановка задачи и ее решение

Целью работы является установление нижней границы начального размера капель компонентов ГОС, который с большой степенью надежности обеспечит процесс гелеобразования на поверхности ТГМ. Для этого необходимо рассмотреть задачу об испарении капли водного раствора соли в горячей газовой среде. Для случая чистой воды эта задача давно решена [8]. Будем действовать аналогично, только используя уравнения баланса масс и энергии, заменяя уравнения движения газовых компонентов условием изобарности процесса, рассматривая процесс испарения как квазиравновесный.

Написание соответствующих уравнений баланса требует умения рассчитывать потоки массы водяного пара и тепла между поверхностью капли и внешней средой. Решение этой проблемы в приближении сферически симметричного пограничного слоя изложено, например, в монографии [8]. Со-

гласно этим представлениям с каплей воды связаны два приповерхностных сферических пограничных слоя — диффузионный (толщиной Δ_D) и температурный (толщиной Δ_T).

Диффузионный слой содержит избыток водяного пара, парциальное давление которого на внешней границе слоя совпадает с его атмосферным значением P_{n0} , а давление пара на внутренней границе слоя (непосредственно у поверхности капли) равно давлению насыщенного пара воды над поверхностью водного раствора соли $P_{c,s}(T_k, g_c)$ при абсолютной температуре T и массовой доле соли в растворе g_c (Па) (где T_k — температура поверхности капли, К). Здесь и далее по тексту индексы “к” и “с” соответствуют капле и раствору соли.

В реализуемом в нашей ситуации квазистационарном режиме испарения поток массы водяного пара J_n (кг/с) от капли в газовую среду описывается соотношением

$$J_n = 2\pi r_k \bar{D} \frac{\mu_v P}{RT} (\text{Nu}_D + 2) \times \times \ln \left(\frac{P - P_{n0}}{P - P_{c,s}(T_k, g_c)} \right), \quad (1)$$

где r_k — радиус капли, м;

μ_v — молярная масса воды, кг/моль;

$\mu_v = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль;

P — общее атмосферное давление, Па;

R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); $R = 8,314$ Дж/(моль·К);

$\bar{T}$ — средняя абсолютная температура газовой среды в диффузионном слое, К;

$\bar{D}$ — усредненное значение коэффициента диффузии пара в газовой среде, м²/с;

$$\bar{D} = \frac{\bar{T}}{\frac{r_k(r_k + \Delta_D)}{\Delta_D} \int_{r_k}^{r_k + \Delta_D} \frac{T(r)}{D(T(r))r^2} dr}$$

r — переменная интегрирования, представляющая собой расстояние от центра капли, м;

Nu_D — диффузионный критерий Нуссельта (или критерий Шервуда Sh).

Критерий Шервуда связывает ширину диффузионного слоя Δ_D с характерным расстоянием $2r_k$ соотношением $\Delta_D = 2r_k / \text{Nu}_D$.

В квазистационарном режиме испарения согласно [8] поток энергии Q (Вт) между каплей и внешней средой описывается соотношением

$$Q = J_n \left[h_n(T_k) - \frac{h_n(T_a) - h_n(T_k)}{\exp(B) - 1} \right], \quad (2)$$

где B — безразмерная величина;

$$B = \frac{J_{\pi} c_{p,\pi}}{2\pi r_k \bar{\lambda} (\text{Nu}_T + 2)}; \quad (3)$$

$c_{p,\pi}$ — удельная массовая изобарная теплоемкость пара, Дж/(кг·К);

$\bar{\lambda}$ — среднее по температурному слою значение коэффициента теплопроводности парогазовой среды, Вт/(м·К);

Nu_T — тепловой критерий Нуссельта, связывающий ширину переходного температурного слоя Δ_T с характерным расстоянием $2r_k$ соотношением $\Delta_T = 2r_k / \text{Nu}_T$.

При выводе соотношения (2) предполагалась линейная зависимость удельной массовой энтальпии образования водяного пара h_{π} (Дж/кг) от температуры:

$$h_{\pi}(T) = h_{\pi}(T_k) + c_{p,\pi}(T - T_k). \quad (4)$$

Уравнения (1) и (2) связывают между собой пять величин — Q , J_{π} , g_c , r_k и T_k . Недостающими тремя уравнениями, замыкающими систему, являются соотношения, отображающие балансы масс двух компонентов раствора в капле и энтальпии капли. Рассмотрим эти соотношения.

Масса капли раствора m_k складывается из масс воды m_b и соли m_c : $m_k = m_b + m_c$. Считая, что в процессе испарения масса соли в капле остается неизменной ($m_c = \text{const}$), из закона сохранения вещества получаем:

$$\frac{dm_k}{d\tau} = \frac{dm_b}{d\tau} = -J_{\pi}. \quad (5)$$

Отсюда следует, что скорость изменения массовой доли соли в капле раствора удовлетворяет соотношению

$$\begin{aligned} \frac{dg_c}{d\tau} &= \frac{d}{d\tau} \left(\frac{m_c}{m_b + m_c} \right) = - \frac{m_c}{(m_b + m_c)^2} \frac{dm_b}{d\tau} = \\ &= g_c \frac{J_{\pi}}{m_k} = g_c \frac{J_{\pi}}{\rho(g_c) V_k}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\rho(g_c)$ — известная плотность раствора капли, кг/м³ (зависимость $\rho(T)$ не рассматривается ввиду относительной малости соответствующих изменений);

V_k — объем капли, м³.

Для получения скорости изменения размера капли рассмотрим скорость изменения ее массы:

$$\begin{aligned} \frac{dm_k}{d\tau} &= \frac{d(\rho V_k)}{d\tau} = \frac{d\rho}{d\tau} V_k + \rho \frac{dV_k}{d\tau} = \\ &= \frac{\partial \rho}{\partial g_c} \frac{dg_c}{d\tau} V_k + \rho \frac{dV_k}{d\tau}. \end{aligned} \quad (7)$$

Из соотношений (5)–(7) следует, что

$$\rho \frac{dV_k}{d\tau} = -J_{\pi} \left(1 + \frac{\partial \rho}{\partial g_c} \frac{g_c}{\rho} \right). \quad (8)$$

Последнее из уравнений баланса представляет собой первый закон термодинамики, в соответствии с которым в рассматриваемом изобарном процессе прохождение теплового потока сквозь поверхность капли обеспечивается за счет изменения ее энтальпии, т. е.

$$\begin{aligned} Q &= - \frac{d}{d\tau} [h(T_k, g_c) m_k] = \\ &= - \left[\frac{\partial h}{\partial g_c} \frac{dg_c}{d\tau} + \frac{\partial h}{\partial T} \frac{dT_k}{d\tau} \right] m_k - h \frac{dm_k}{d\tau} = \quad (9)^* \\ &= -c_p m_k \frac{dT_k}{d\tau} + J_{\pi} \left[h - \frac{\partial h}{\partial g_c} g_c \right], \end{aligned}$$

где h — удельная массовая энтальпия образования раствора соли, Дж/кг, которая является функцией температуры T и массовой доли соли в нем g_c ; c_p — удельная массовая изобарная теплоемкость раствора, Дж/(кг·К); $c_p(T, g_c) = (\partial h / \partial T)_p$. Объединив формулы (2), (9) и используя разложение (4), можно получить уравнение, задающее скорость изменения температуры капли:

$$m_k c_p \frac{dT_k}{d\tau} = J_{\pi} \left[-\Delta h + \frac{c_{p,\pi} (T_k - T_k)}{\exp(B) - 1} \right], \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_{\pi}(T_k) - h(T_k, g_c) + \frac{\partial h}{\partial g_c} g_c \approx \\ &\approx h_{\pi}(T_k) - h(T_k, 0) = h_{\pi}(T_k) - h_b(T_k) \equiv \Delta h_{\pi}; \end{aligned} \quad (11)$$

h_b , Δh_{π} — удельная энтальпия образования жидкой фазы воды и теплота парообразования воды соответственно, Дж/кг.

Из соотношений (11) прямо следует, что отличие теплоты образования водяного пара из раствора соли и из чистой воды

$$\Delta h - \Delta h_{\pi} = - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 h}{\partial g_c^2} g_c^2 + o(g_c^2)$$

представляет собой величину не ниже второго порядка по g_c , которая является существенной только при значительных концентрациях соли в растворе.

Для однозначного решения задачи уточним некоторые из зависимостей. В дальнейшем будем считать, что раствор соли ведет себя как идеальный. В этом случае давление насыщенного пара воды над поверхностью раствора $P_{c,s}(T, g_c)$ будет пропорциональным мольной доле воды в растворе $g_{\mu,b}$:

$$P_{c,s}(T, g_c) = g_{\mu,b}(g_c) P_{0s}(T), \quad (12)$$

где $P_{0s}(T)$ — известная величина давления насыщенного пара воды над чистой водой;

$g_{\mu,b}(g_s)$ — мольная доля воды в массовых долях;

* При преобразованиях уравнения (9) использовались соотношения (5) и (6).

$$g_{\mu,в}(g_c) = 1 - \frac{g_c \mu_{\text{в}}}{\mu_c - (\mu_c - \mu_{\text{в}}) g_c};$$

μ_c — молярная масса соли (отметим, что для CaCl_2 $\mu_c = 0,111$ кг/моль, для $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2$ — $\mu_c = 0,224$ кг/моль).

Решение задачи требует определения критериев подобия Шервуда (Nu_D) и Нуссельта (Nu_T), которые тесно связаны с характером обтекания капли газовой средой. Воспользуемся тем, что вследствие подобия явлений диффузии вещества и энергии зависимость критерия Шервуда от критериев Рейнольдса (Re) и Шмидта (Sc) и зависимость критерия Нуссельта от критериев Рейнольдса (Re) и Прандтля (Pr) совпадают. В дальнейшем, используя незначительное отличие критериев Шмидта и Прандтля в газовой среде, будем оценивать критерии подобия Шервуда и Нуссельта одинаковым критериальным уравнением [8]:

$$\text{Nu}_T = \text{Nu}_D = \begin{cases} 2 \cdot (1 + 0,08 \text{Re}^{2/3}), & \text{Re} \leq 200; \\ 0,54 \text{Re}^{1/2}, & \text{Re} > 200. \end{cases} \quad (13)$$

Здесь критерий Рейнольдса рассчитывается по формуле

$$\text{Re} = w(2r_k)/\nu_{\text{г}}, \quad (14)$$

где w — скорость движения капли относительно газовой среды, м/с;

$\nu_{\text{г}}$ — коэффициент кинематической вязкости газовой среды, $\text{м}^2/\text{с}$.

Отметим сразу, что следствием совпадения диффузионного и теплового критериев Нуссельта ($\text{Nu}_D = \text{Nu}_T$) является упрощение параметра B (формула (3)), сопровождающееся исчезновением зависимости B от размеров капли.

Уравнения (6), (8) и (10) (с учетом соотношений, описывающих связи величин) при условии задания начальных массы и температуры капли, а также концентрации соли в растворе однозначно описывают процесс испарения капли раствора. Для дальнейшего анализа процесса испарения капель трансформируем эти уравнения. В качестве искомой неизвестной величины вместо радиуса капли возьмем площадь ее поверхности $s = 4\pi r_k^2$. Для сокращения записи введем функцию

$$G(T_k, s, g_c) \equiv 2 \frac{J_{\text{п}}}{\rho r_k} = 4\pi \bar{D} \frac{\mu_{\text{в}} P}{\rho R \bar{T}} (\text{Nu}_D + 2) \times \ln \left(\frac{P - P_{\text{п0}}}{P - P_{\text{с,с}}(T_k, g_c)} \right), \quad (15)$$

являющуюся характерной скоростью изменения площади поверхности капли. В результате уравнения (8) и (10) примут вид:

$$\frac{ds}{d\tau} = -G \left(1 + \frac{\partial \rho}{\partial g_c} \frac{g_c}{\rho} \right); \quad (16)$$

$$s \frac{dT_k}{d\tau} = \frac{3}{2c_{\text{р.п}}} G \left[-\Delta h + \frac{c_{\text{р.п}} (T_{\text{г}} - T_k)}{\exp(B) - 1} \right]. \quad (17)$$

Вместо уравнения (6) используем неизменность массы соли в капле при испарении. Действительно,

$$\begin{aligned} m_c &= g_c m_k = g_c \rho(g_c) V_k = \\ &= g_c \rho(g_c) \frac{4\pi}{3} r_k^3 = g_c \rho(g_c) \frac{s^{3/2}}{6\sqrt{\pi}} = \text{const}. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что

$$s = s_0 \left(\frac{g_{\text{с0}} \rho(g_{\text{с0}})}{g_c \rho(g_c)} \right)^{2/3}, \quad (18)$$

где s_0 и $q_{\text{с0}}$ — значения s и g_c в начальный момент времени.

Отметим, что в правой части выражения (17) в квадратных скобках отсутствует явная зависимость от размера капли. Кроме того, это выражение при малом содержании соли в растворе (согласно соотношениям (11) и (12)) практически не зависит от g_c . Это означает, что, пока концентрация соли в растворе остается малой, процесс испарения в соответствии с формулой (17) выходит на режим с постоянной температурой $T_k = T_{\text{ст}}$ и далее большую часть времени испарение капли продолжается при этой температуре. Величина $T_{\text{ст}}$ является корнем уравнения

$$-\Delta h + \frac{c_{\text{р.п}} (T_{\text{г}} - T_k)}{\exp(B) - 1} = 0, \quad (19)$$

при решении которого можно брать значение $g_c = 0$, соответствующее чистой воде. В этом режиме функция G (формула (15)) слабо зависит от размера капли, в связи с чем скорость изменения площади поверхности капли раствора в соответствии с уравнением (16) убывает практически линейно по закону

$$s(\tau) = s_{0\text{ст}} - G_{\text{ст}} \tau, \quad (20)$$

где $s_{0\text{ст}}$ — площадь поверхности капли в начале стационарного температурного режима;

$$G_{\text{ст}}(T_{\text{ст}}, s_{0\text{ст}}) \equiv G(T_{\text{ст}}, s_{0\text{ст}}, 0).$$

Отметим, что характерное время выхода на стационарный режим значительно меньше времени пребывания капли в этом режиме, в связи с чем при оценках можно принимать $s_{0\text{ст}} \approx s_0$.

Отметим, что, используя соотношение (3) и приняв, что предел $g_c = 0$ соответствует чистой воде, уравнение (19) удобнее представить в виде:

$$\begin{aligned} \ln \left(\frac{P - P_{\text{п0}}}{P - P_{0\text{с}}(T_{\text{ст}})} \right) &= \frac{\bar{\lambda}}{\bar{D} c_{\text{р.п}}} \frac{R \bar{T}}{\mu_{\text{в}} P} \times \\ &\times \ln \left(1 + \frac{c_{\text{р.п}} (T_{\text{г}} - T_{\text{ст}})}{\Delta h_{\text{п}}(T_{\text{ст}})} \right). \end{aligned} \quad (21)$$

Зная зависимость абсолютной температуры насыщенного водяного пара $T_{\text{с}}$ от его давления $P_{\text{п}}(T_{\text{с}}(P_{\text{п}}))$,

уравнение (21) можно решать стандартными методами (например, методом последовательных приближений). Полученное значение $T_{ст}(T_r)$ позволяет оценить характерную величину скорости уменьшения площади поверхности капли:

$$G_{ст} = 4\pi(Nu_D + 2) \frac{\bar{\lambda}}{\rho_v c_{p,п}} \times \ln \left(1 + \frac{c_{p,п} (T_r - T_{ст})}{\Delta h_{п} (T_{ст})} \right), \quad (22)$$

где ρ_v — плотность воды, кг/м^3 .

Знание величины $G_{ст}$ позволяет в соответствии с формулами (18) и (20) оценить время $\Delta\tau$ достижения критического значения концентрации соли $g_{с,кр}$ и максимальную дальность подачи гелеобразующего раствора с сохранением пожаротушающей способности L_{max} :

$$\Delta\tau = \frac{s_0}{G_{ст}} \left[1 - \left(\frac{g_{с0} \rho(g_{с0})}{g_{с,кр} \rho(g_{с,кр})} \right)^{2/3} \right]; \quad (23)$$

$$L_{max} = w\Delta\tau = \frac{ws_0}{G_{ст}} \left[1 - \left(\frac{g_{с0} \rho(g_{с0})}{g_{с,кр} \rho(g_{с,кр})} \right)^{2/3} \right]. \quad (24)$$

В соответствии с формулами (22)–(24) зависимость L_{max} от начального размера капли (если пренебречь зависимостью коэффициента кинематической вязкости газовой среды ν_r от температуры в соотношениях (14)) можно представить в виде:

$$L_{max}(T_{ст}, g_c, r_0) = f_{T,g}(T_{ст}, g_c) f_r(r_0). \quad (25)$$

Вид зависимости от начального размера капли r_0 (в реализуемом зачастую пределе $Re > 200$) близка к степенной:

$$f_r(r_0) = \frac{s_0}{Nu_D + 2} \sim r_0^n, \quad (26)$$

где $n = 1,5$.

Описанная выше система уравнений (16)–(18) исследовалась численно в среде для математических расчетов пакета программ MatLab. Типичные результаты расчетов представлены на рис. 1.

При численном моделировании брались типичные для пожаротушения значения параметров процесса: общее давление $P = 1,0 \cdot 10^5$ Па; парциальное давление водяного пара в газовой среде $P_{п0} = 0$ Па; удельная теплоемкость водяного пара $c_{p,п} = 2,0 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К); удельная теплота парообразования $\Delta h_{п} = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг; коэффициент кинематической вязкости газовой среды $\nu_r = 3,5 \cdot 10^{-5}$ м²/с; температура газовой среды $T_r = 1273$ К. Предполагались следующие температурные зависимости: $\bar{\lambda} = 8,6 \cdot 10^{-5} T$ Вт/(м·К) и $\bar{D} = 4,9 \cdot 10^{-9} T^{1,5}$ м²/с. Бралась линейная зависимость плотности раствора от массовой доли соли: $\rho(g_c) = 1000 + 500g_c$ кг/м³. Были

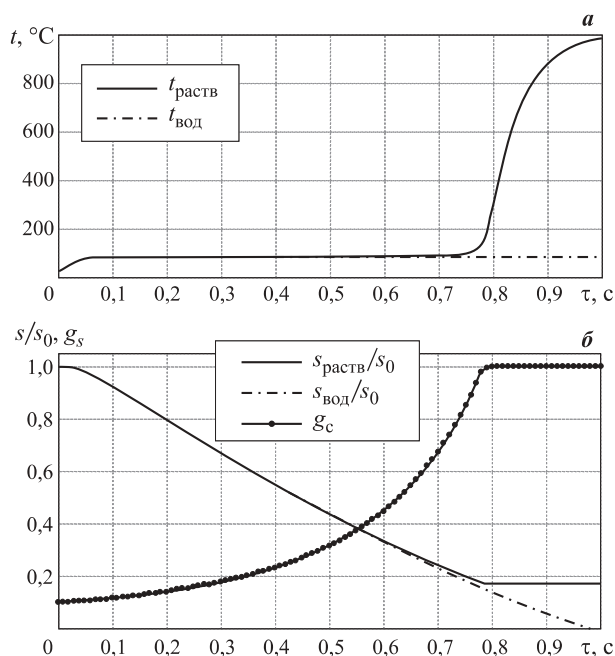


Рис. 1. Зависимости температуры t (а) и относительной площади поверхности s/s_0 каплей раствора и чистой воды, массовой доли соли в растворе g_c (б) от времени полета капли в газовой среде τ

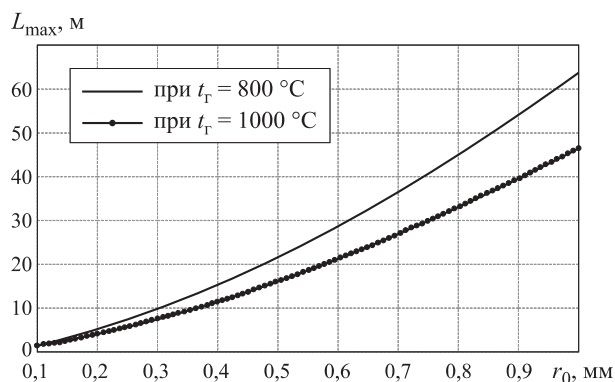


Рис. 2. Зависимость максимальной дальности полета каплей L_{max} , обеспечивающая надежное гелеобразование на обрабатываемых поверхностях, от начального радиуса r_0 каплей раствора

приняты также значения начальной и критической (конечной) концентраций соли: соответственно $g_{с0} = 0,1$ и $g_{с,кр} = 0,5$. Предполагалось, что скорость капли постоянна и равна типичному для ручных пожарных стволов значению: $w = 25$ м/с.

Графики на рис. 1 показывают совпадение характеристик процессов испарения каплей раствора и чистой воды в широком диапазоне концентраций соли. Подтверждается также существование режима со стационарной температурой испарения и близкий к линейному характер убывания площади поверхности капли.

На рис. 2 представлена полученная на основе численного эксперимента модельная зависимость максимальной дальности полета каплей от их на-

чального радиуса при температурах газовой среды 800 и 1000 °С.

Данные зависимости с относительным отклонением, равным нескольким процентам, аппроксимируются степенной функцией

$$L_{\max} = A(t_r) r_0^n, \quad (25)$$

в которую значения r_0 подставляются в миллиметрах с общим показателем степени $n = 1,58$; $A(800) = 64,4$, $A(1000) = 46,9$.

Заключение

Разработана математическая модель, позволяющая оценить максимальную дальность полета капель раствора, при которой обеспечиваются условия надежного гелеобразования на защищаемой поверхности ТГМ, в зависимости от начального радиуса капели. При начальном размере капли более 0,4 мм обеспечивается эффективное использование ГОС на ширину фронта пожара более 10 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баратов А. Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. — М.: Химия, 1979. — 368 с.
2. Шароварников А. С., Молчанов В. П., Воевода С. С., Шароварников С. А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. — М.: Калан, 2002. — 448 с.
3. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. — М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. — 255 с.
4. Патент 2264242 Российская Федерация. МПК7 А62 С 5/033. Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П. Ф., Росоха В. Е., Абрамов Ю. А., Киреев А. А., Бабенко А. В. — № 2003237256/12; заявл. 23.12.2003 г.; опубл. 20.11.2005 г., Бюл. № 32.
5. Киреев О. О., Бабенко О. В. Обґрунтування вибору систем для дослідження явища гелеутворення при розробці нових рідинних засобів пожежогасіння // Проблеми пожежної безпеки. — 2002. — Вып. 12. — С. 107–110.
6. Киреев А. А., Романов В. Н., Тарасова Г. В. Исследование концентрационных областей быстрого гелеобразования в огнетушащих системах на основе силиката натрия // Проблеми пожежної безпеки. — 2004. — Вып. 15. — С. 107–110.
7. Киреев А. А., Романов В. Н., Александров А. В. Определение областей быстрого гелеобразования в огнетушащих системах: $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{FeSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ // Проблеми пожежної безпеки. — 2004. — Спец. вып. — С. 34–37.
8. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М.: Наука, 1967. — 492 с.

Материал поступил в редакцию 2 июня 2013 г.

English

MATHEMATICAL MODELING OF THE BEHAVIOR OF DROPLETS OF GEL-FORMING FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS IN HIGH-TEMPERATURE AREA

SHARSHANOV A. Ya., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Special Chemistry and Chemical Technology, National University of Civil Defense of Ukraine (Chernyshevskaya St., 94, Kharkov, 61023, Ukraine)

ABRAMOV Yu. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, National University of Civil Defense of Ukraine (Chernyshevskaya St., 94, Kharkov, 61023, Ukraine)

KIREEV A. A., Candidate of Chemical Sciences, Docent, Associate Professor of Department of Special Chemistry and Chemical Technology, National University of Civil Defense of Ukraine (Chernyshevskaya St., 94, Kharkov, 61023, Ukraine; e-mail address: kireev53@mail.ru)

ABSTRACT

To increase the efficiency of firefighting the extinguishing gel-forming systems were offered. They represent two separately stored and separately and simultaneously applied components. The first component is the gel-forming solution. The second is the catalyst solution for gel formation. When

sprayed simultaneously they intermix on burning or protected surfaces. Their interaction leads to stable gel formation. The gel forms non-flowing fire-protective layer that firmly holds on vertical and inclined surfaces.

The aim of this work is to determine the minimal initial size of droplets of the components of gel-forming system that will reliably provide gel formation on the surfaces of solid combustible materials. For this purpose the problem of evaporation of droplets of aqueous saline solution in hot gas environment was considered. Creating the model of evaporation of aqueous saline solution, the equation of mass and energy balance were only used. The equations of gas components movement were substituted by isobaric process condition, and the evaporation was considered as a quasi-equilibrium process. After making some reasonable assumptions, a system of equations describing the process of evaporation of droplets of components of the gel-forming system was obtained.

The developed mathematical model was solved numerically in a wide range of initial parameters. The maximum distance of spraying of solution droplets that ensured reliable gel-formation on protected surfaces depending on initial droplets radius was estimated. The initial droplets size of more than 0.4 mm ensures the efficiency of gel-forming systems at the depth of fire more than 10 m.

Keywords: gel-forming fire-extinguishing systems; fire extinguishing efficiency; mathematical model of evaporation of solutions droplets; the flight range of spray.

REFERENCES

1. Baratov A. N. *Pozharotusheniye na predpriyatiyakh khimicheskoy i neftepererabatyvayushchey promyshlennosti* [Firefighting at chemical and oil-refining industry]. Moscow, Khimiya Publ., 1979. 368 p.
2. Sharovarnikov A. S., Molchanov V. P., Voevoda S. S., Sharovarnikov S. A. *Tusheniye pozharov nefi i nefteproduktov* [Fire fighting of oil and oil products]. Moscow, Kalan Publ., 2002. 448 p.
3. Abduragimov I. M., Govorov V. Yu., Makarov V. E. *Fiziko-khimicheskiye osnovy razvitiya i tusheniya pozharov* [Physico-chemical fundamentals development and extinguishing of fires]. Moscow, Higher Fire and Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1980. 255 p.
4. Borisov P. F., Rosokha V. E., Abramov Yu. A., Kireev A. A., Babenko A. V. *Sposob tusheniya pozhara i sostav dlya yego osushchestvleniya* [Way to extinguish a fire and structure for its implementation]. Patent RF, no. 2264242, 2005.
5. Kireev O. O., Babenko O. V. Obgruntuvannya viboru sistem dlya doslidzhennya yavishcha geleutvorenniya pri rozrobtsi novikh ridinnikh zasobiv pozhezhogasinnya [Justification of the choice of systems for studies of gelformation phenomena in the development of new liquid fire fighting systems]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti — Problems of Fire Safety*, 2002, no. 12, pp. 107–110.
6. Kireev A. A., Romanov V. N., Tarasova G. V. Issledovaniye kontsentratsionnykh oblastey bystrogo geleobrazovaniya v ognetchashchikh sistemakh na osnove silikata natriya [The study of concentration regions of quick gelformation extinguishing systems on the basis of sodium silicate]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti — Problems of Fire Safety*, 2004, no. 15, pp. 107–110.
7. Kireev A. A., Romanov V. N., Aleksandrov F. V. Opredeleniye oblastey bystrogo geleobrazovaniya v ognetchashchikh sistemakh: $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ i $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{FeSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ [Identifying areas of rapid gelformation of extinguishing systems: $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ and $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 - \text{FeSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti — Problems of Fire Safety*, 2004, Special release, pp. 34–37.
8. Frank-Kamenetskiy D. A. *Diffuziya i teploperedacha v khimicheskoy kinetike* [Diffusion and heat transfer in chemical kinetics]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 492 p.

Е. В. АНЦУПОВ, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Института проблем горения (Республика Казахстан, 050012, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 172; e-mail: antsupov07@rambler.ru)

С. М. РОДИВИЛОВ, старший научный сотрудник Института проблем горения (Республика Казахстан, 050012, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 172; e-mail: rsm@amik.ru)

УДК 536.46:614.842

ТУШЕНИЕ ПРОПАН-ВОЗДУШНОГО ПЛАМЕНИ ГИДРОКАРБОНАТАМИ НАТРИЯ И КАЛИЯ

Рассмотрено тушение гидрокарбонатами натрия и калия и их смесью пропан-воздушного пламени. Наблюдалось изменение вида частиц порошков при тушении пламени после прохождения ими высокотемпературной зоны: частицы порошков, имевшие температуру плавления менее 1000 °С, расплавились и принимали сферическую форму. Приведен термогравиметрический и рентгенофазовый анализ порошков и их смесей. Показано, что тушение гидрокарбонатами натрия и калия определяется в основном гомогенным ингибированием и небольшим вкладом тепловых потерь в пламени. Показано, что тушение пламени смесью гидрокарбонатов натрия и калия носит аддитивный характер.

Ключевые слова: тушение; огнетушащие порошки; ингибирование; неорганические соли.

Введение

Несмотря на широкое распространение порошковых средств тушения, механизм действия огнетушащих порошков при тушении пламени изучен недостаточно полно, в частности практически не рассмотрен вопрос действия пламени на ингибиторы. В литературе рассматриваются три аспекта действия порошковых ингибиторов — тушение, ингибирование и флегматизация пламени.

Под флегматизацией пламени порошками подразумевается снижение концентрационных пределов воспламенения и взрывов. Ингибирование характеризуется снижением скорости пламени горелки или пламени, распространяющегося в трубах, тушение — прекращением горения. Действие порошков в этих аспектах различно.

В литературе широко представлены работы по ингибированию пламени. Однако процесс непосредственного тушения порошками исследован слабо. При изучении ингибирования пламени методом измерения скорости распространения пламени в трубе, как правило, за тушащую способность берется концентрация порошка в трубе, при которой пламя не распространяется. Однако эффективность одного и того же порошкового ингибитора при тушении пламени и при ингибировании может существенно различаться, поэтому по величине ингибирующей концентрации порошка нельзя судить о его тушащей способности.

Мелкодисперсные порошки гидрокарбонатов натрия и калия хорошо тушат пламя. На основе гидрокарбоната натрия выпускаются порошковые огнетушители. В литературе приведены результаты

изучения действия этих солей при ингибировании [1, 2] и тушении [3, 4] пламени.

Экспериментальная часть

В наших исследованиях опыты проводились на установке, описанной в работе [5], на которой осуществлялось тушение предварительно перемешанного пропан-воздушного пламени. Порошок подавался в пламя со стороны предпламенной зоны импульсным способом. Частицы порошка имели размер менее 80 мкм. Для улучшения текучести и уменьшения слеживаемости в порошки добавляли 1,5 % аэросила АМ-1-300. Объем светящегося конуса пламени составлял около 180 мм³.

С целью определения потери массы при нагревании до 1000 °С проводился термогравиметрический анализ порошков с помощью дериватографа Q-1500D. Навеска порошка составляла 50 мг, скорость нагрева — 10 °С/мин.

Гидрокарбонат натрия NaHCO_3 . При динамическом нагревании гидрокарбонат натрия разлагается в три стадии (рис. 1). На первой стадии в атмосферу выделяется только вода (60–100 °С), затем — диоксид углерода CO_2 (100–220 °С). Первая и вторая стадии диссоциации протекают с потерей массы около 10 % (вода) и 26 % (CO_2). Третья высокотемпературная стадия разложения (680–900 °С) в результате образования в шихте Na_2O и CO_2 приводит к потере массы системы еще на 26 %. Термогравиметрическая (ТГ) кривая при этом в пределах 1000 °С показывает 60 %-ные потери массы вещества, что на 2 % ниже ожидаемого результата. Эту разницу следует отнести за счет поглощения паров

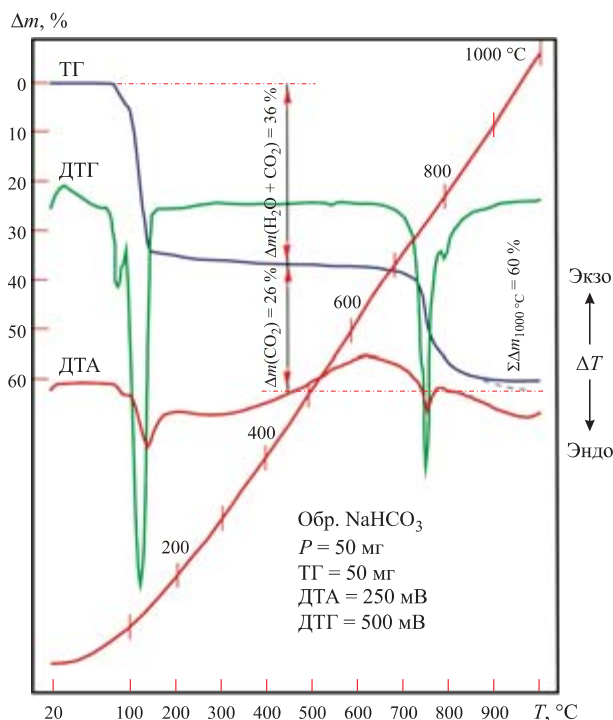


Рис. 1. Термограмма гидрокарбоната натрия

воды из атмосферы (на рис. 1 — пунктирная линия на ТГ-кривой в пределах 900–1000 °C).

Из этого анализа следует, что из тушащей навески при температуре до 1000 °C выделяется $3,3 \cdot 10^{19}$ ($1,8 \cdot 10^{17}$ моль/мм³ в объеме пламени) молекул воды и $7,1 \cdot 10^{19}$ ($3,9 \cdot 10^{17}$ моль/мм³) молекул углекислого газа. Огнетушащая концентрация порошка на единицу объема светящегося конуса пламени составляет 56 мг/см³ (масса тушащей навески 10 мг).

При тушении углеводородного пламени теряется около 77 % массы навески, увеличение потери в пламени по сравнению с термическим нагревом обусловлено возгонкой ($T = 1275$ °C) оксида натрия.

На рис. 2 представлен вид частиц гидрокарбоната натрия до и после прохождения ими пламени. Анализ морфологии частиц показывает, что в исходном состоянии основная масса их представляет собой прозрачные кристаллы неправильной формы размером более 40 мкм. После прохождения пла-

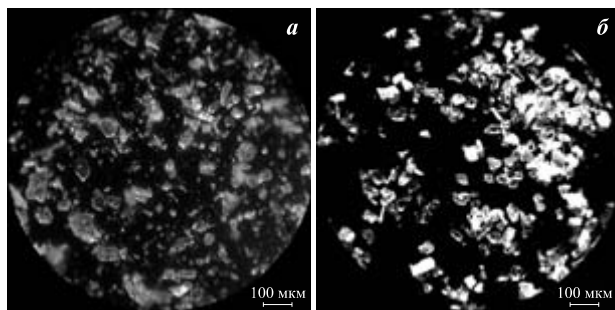


Рис. 2. Вид частиц NaHCO_3 до (а) и после (б) прохождения ими пламени

мени форма большинства частиц сохраняется, а их размер находится в интервале от 40 до 60 мкм. Рентгенофазовый анализ частиц, прошедших через пламя, показал, что они состоят из безводного (около 73 %) и трехводного (около 27 %) карбоната натрия. Вероятно, карбонат натрия, образовавшийся в пламени при разложении гидрокарбоната натрия, не успел полностью вступить в реакции с другими веществами и при выходе из высокотемпературной зоны частично забрал пары воды из зоны догорания.

Гидрокарбонат калия KHCO_3 . В условиях постепенного нагревания от 20 до 1000 °C KHCO_3 разлагается по той же схеме, что и гидрокарбонат натрия (рис. 3). Одним из немногих отличий в кинетике разложения этих соединений является несхожесть динамики их дегидратации. В случае обезвоживания калиевого карбоната скорость потери воды меньше, чем у NaHCO_3 . Об этом свидетельствует наличие на дифференциальной термогравиметрической кривой пробы менее интенсивного пика при 70 °C по сравнению с дегидратацией сравниваемого соединения. Различия потери массы в низкотемпературной части диапазона также невелико: диссоциация рассматриваемой пробы протекает с изменением ее массы на 9 и 22 %, связанным с выходом сначала паров воды, а затем — CO_2 . Оба процесса протекают при более высоких (на 60 °C) температурах, нежели при разложении натриевой соли.

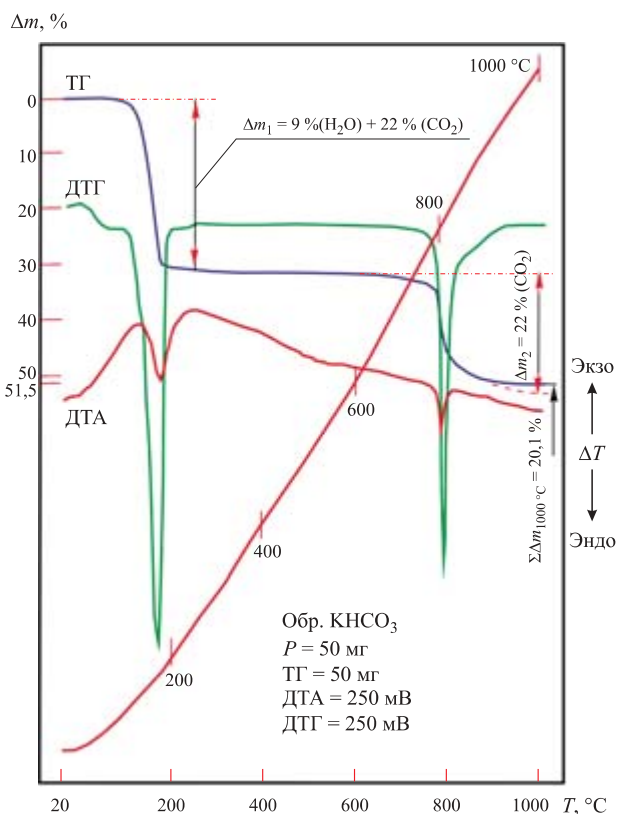


Рис. 3. Термограмма гидрокарбоната калия

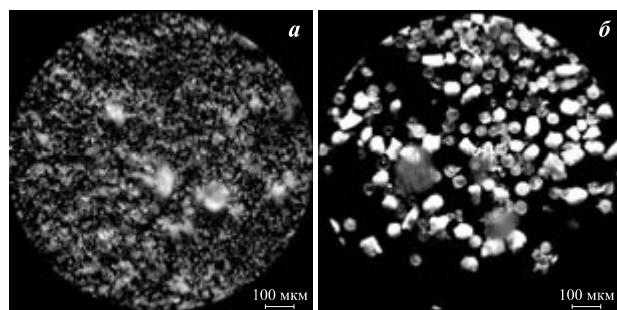


Рис. 4. Вид частиц K_2CO_3 до (а) и после (б) прохождения ими пламени

В случае же высокотемпературной стадии разложения K_2CO_3 ее смещение в высокотемпературную область составляет лишь 40°C , однако такой рост температуры вызвал более интенсивное изменение скорости потери массы (пик на ДТГ-кривой), чем это наблюдалось в процессе деструкции NaHCO_3 . При этом потеря массы калиевого карбоната за счет выделения диоксида углерода (22 %) оставалась ниже по сравнению со сравниваемым соединением (26 %).

При температуре свыше 850°C кривая потери массы выходит на плато. Из анализа дериватограммы следует, что при разложении массы гидрокарбоната калия, соответствующей тушащей навеске, в атмосферу выделилось $1,5 \cdot 10^{19}$ ($8,3 \cdot 10^{16}$ моль/ мм^3) молекул воды и $3,0 \cdot 10^{19}$ ($1,7 \cdot 10^{17}$ моль/ мм^3) молекул углекислого газа. Огнетушащая концентрация гидрокарбоната калия на единицу объема светящегося конуса пламени составляла 28 мг/см^3 (масса тушащей навески 5 мг).

До прохождения пламени основная доля частиц представляет собой прозрачные кристаллы размером менее 15–20 мкм (около 90 %) (рис. 4). После прохождения пламени большинство частиц (около 80 %) имеют размер более 50 мкм, более половины из них сферической формы. Частицы в основном прозрачны и со временем белеют, что характерно для K_2CO_3 .

Смесь $\text{NaHCO}_3 + \text{KHCO}_3$. Соотношение компонентов в смеси по массе 1:1. Смесь при термогравиметрическом анализе (ДТА) (рис. 5) в результате нагревания дает на каждой стадии разложения все те же термохимические характеристики, что и в случае отдельных термических съемок компонентов смеси. По конфигурациям ДТА-, ДТГ- и ТГ-кривых при учете массовых пропорций составляющих четко прослеживается суммарное происхождение эффектов, вызванных процессами деструкции указанных соединений. Сумма площадей ДТА- и ДТГ-пиков отдельно снятых карбонатов на каждом этапе разложения равна площадям пиков смеси в соответствующих интервалах температур с учетом доли компонентов смеси.

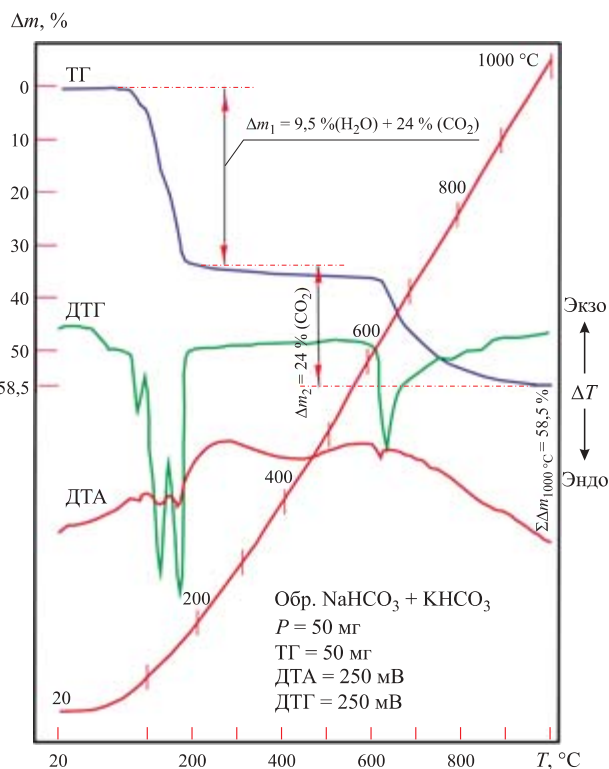


Рис. 5. Термограмма смеси гидрокарбонатов калия и натрия

В связи с этим термометрические параметры диссоциации смеси в отношении ее компонентов являются аддитивными.

Из дериватограммы смеси следует, что при температуре свыше 50 и до 200°C выделяется вода (9,5 %) и углекислый газ (24 %), свыше 600°C — только CO_2 (24 %). В конденсированной фазе остается 19 % оксида натрия и 23 % оксида калия. Из анализа дериватограммы следует, что при разложении смеси в размере тушащей навески в атмосферу выделилось $1,9 \cdot 10^{19}$ ($1,1 \cdot 10^{17}$ моль/ мм^3) молекул воды и $3,9 \cdot 10^{19}$ ($2,2 \cdot 10^{17}$ моль/ мм^3) молекул углекислого газа. Тушение пламени смесью гидрокарбонатов натрия и калия носит аддитивный характер. Тушащая концентрация на единицу объема светящегося конуса пламени составляла 34 мг/см^3 (масса тушащей навески 6 мг).

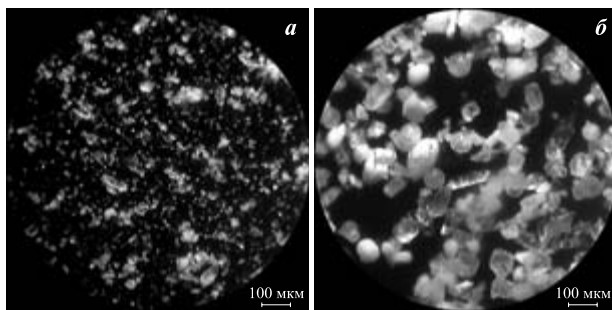


Рис. 6. Вид частиц смеси $\text{KHCO}_3 + \text{NaHCO}_3$ до (а) и после (б) прохождения ими пламени

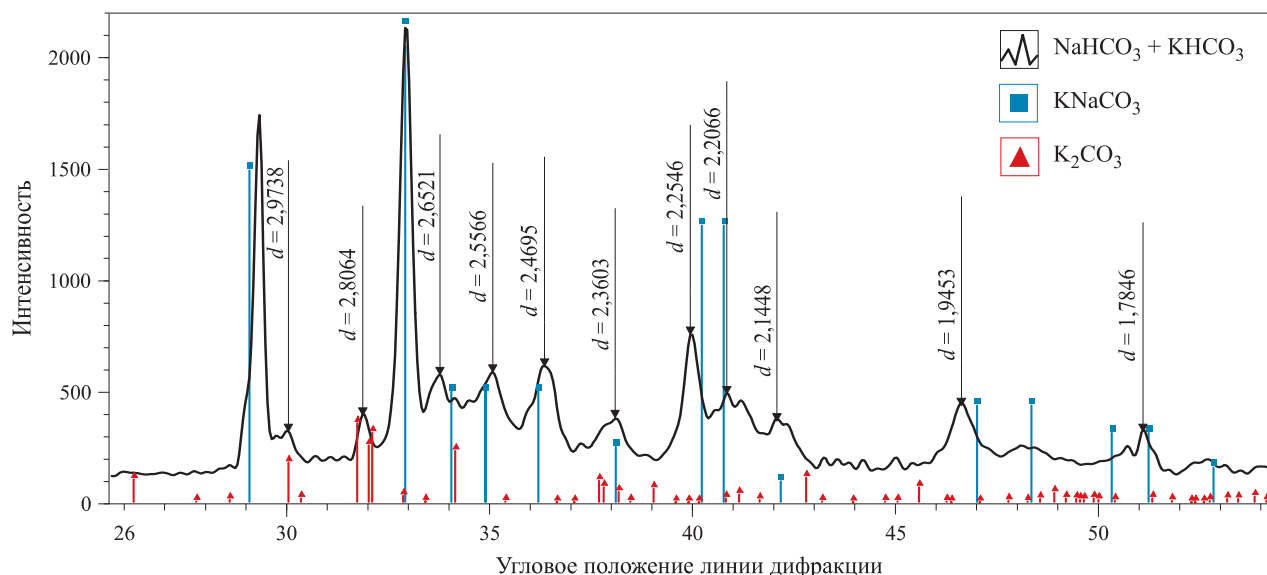


Рис. 7. Дифрактограмма частиц смеси $\text{NaHCO}_3 + \text{KHCO}_3$, прошедших через пламя

До прохождения пламени большая часть частиц имеет размеры менее 15 мкм (рис. 6). Через пламя проходит, не испаряясь, около 29 % частиц, около 10 % из которых размером менее 1 мкм. Мелкие частицы, скорее всего, образуются после охлаждения газовой фазы, полученной при взаимодействии порошка с пламенем. Крупные частицы имеют неправильную форму размером от 50 до 80 мкм и сферическую форму диаметром от 30 до 60 мкм. Дифрактограмма частиц смеси $\text{NaHCO}_3 + \text{KHCO}_3$, прошедших через пламя, приведена на рис. 7. Из дифрактограммы видно, что после прохождения пламени имеются частицы KNaCO_3 и небольшое количество карбоната калия. Карбонат калия на воздухе сильно поглощает водяные пары, и вся смесь, так же как и в опытах с гидрокарбонатом калия, расплывается.

Обсуждение результатов

Как показали наши исследования и литературные данные [6], частицы размером менее 20–30 мкм после прохождения пламени переходят в газовую фазу. Гидрокарбонат натрия тушит хуже, чем гидрокарбонат калия. Это, вероятно, обусловлено тем, что образовавшийся при разложении бикарбоната калия оксид калия в пламени распадается с образованием атомов калия, что и приводит к лучшему ингибированию пламени.

При тушении пламени смесью гидрокарбонатов натрия и калия дополнительно к термическим потерям массы (согласно дериватограмме) добавляется еще около 20 % потерь. Как уже отмечалось, оксид натрия возгоняется при температуре 1275 °С, а оксид калия K_2O распадается при низких температурах, поэтому эти потери можно отнести за счет распада оксидов натрия и калия, а также из-за реакции оксида калия с продуктами горения. Образовавшиеся атомы

калия могут вступать в реакции. Это приводит к эффективному ингибированию пламени, что обуславливает малую массу тушащей навески смеси гидрокарбонатов натрия и калия. Скорее всего, тушение происходит по гомогенному механизму.

В работе [7] приводятся следующие сведения. Для углеродсодержащих веществ предельная температура горения составляет для бедных смесей 1300 °С, для богатых — около 1000 °С. Расчеты показывают, что для прекращения горения охлаждением зоны горения до предельной температуры требуется отвод тепла, равный 45 % теплоты сгорания горючей смеси стехиометрического состава. Для горящих жидкостей эта величина составляет около 25 %. Для тушения предварительно перемешанных пламен ингибитора требуется больше, чем для диффузионных.

В проведенных экспериментах тушение пламени горелки происходит в течение около 0,5 с, при этом выделяется около 125 Дж тепла. Следовательно, можно утверждать, что для тушения предварительно перемешанного пламени достаточно увести из зоны реакции приблизительно 55 Дж тепла.

Приближенный расчет тепла, потребляемого гидрокарбонатами натрия и калия на нагрев до 1300 °С и плавление, с учетом потери массы и преобразования в другие вещества дает следующие значения. На нагрев тушащей навески гидрокарбоната натрия потребовалось около 10,8 Дж, а гидрокарбоната калия — около 4,8 Дж. Следовательно, для этих веществ и их смесей вклад тепловых потерь в тушение пламени незначителен.

Выводы

Таким образом, тушение гидрокарбонатами натрия и калия в основном определяется гомогенным ингибированием и небольшим вкладом тепловых

потерь в пламени. Частицы порошков, не разложившиеся в пламени, составляли небольшую долю от исходной навески и имели в основном размеры бо-

лее 40 мкм; из них частицы, имевшие температуру плавления менее 1000 °С, расплавились и приняли сферическую форму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баратов А. Н., Возман Л. П., Кобзарь В. Н. и др. Ингибирование пламени метана взвесями солей // ФГВ. — 1976. — Т. 12, № 1. — С. 72–75.
2. Bulewicz E. M., Kucnerowicz-Polak B. J., Wilczkowski S. et al. A comparative study of the effect of extinguishant powders on flame propagation in a vertical dust and on deflagration in an explosion chamber // Archivum combustionis. — 1987. — Vol. 7, No. 1–2. — P. 99–109.
3. Chelliah H. K., Wanigarathne P. C., Lentati A. M. et al. Effect of sodium bicarbonate particle size on the extinction condition of non-premixed counterflow flames // Comb. and Flame. — 2003. — Vol. 134. — P. 261–272.
4. Александров В. Е., Возман Л. П., Баратов А. Н. и др. Подавление пламени метано-воздушной смеси порошковыми составами // Горючесть веществ и химические средства пожаротушения : сб. статей № 2. — М. : ВНИИПО, 1974. — С. 32–40.
5. Анцупов Е. В. Синергизм и антагонизм в смесях порошковых ингибиторов в пропановоздушных пламенах // Хим. физ. — 2010. — Т. 29, № 1. — С. 64–69.
6. Добриков В. В., Баратов А. Н. Исследование разогрева твердой частицы во фронте пламени // Горение и проблемы тушения пожаров : матер. V Всесоюз. науч.-практ. конф. — М. : ВНИИПО, 1977. — С. 23–26.
7. Баратов А. Н., Иванов Е. Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. — М. : Химия, 1979. — 368 с.

Материал поступил в редакцию 27 июня 2013 г.

English

EXTINGUISHING OF PROPANE-AIR FLAME BY SODIUM AND POTASSIUM HYDROCARBONATES

ANTSUPOV E. V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Institute of Combustion Problems (Bogenbay Batyr St., 172, Almaty, 050012, Kazakhstan; e-mail address: antsupov07@rambler.ru)

RODIVILOV S. M., Senior Researcher, Institute of Combustion Problems (Bogenbay Batyr St., 172, Almaty, 050012, Kazakhstan; e-mail address: rsm@amik.ru)

ABSTRACT

Powders of sodium and potassium hydrocarbonates are good fire extinguishing agents however their impact on the flames is not implicit. The study included analysis of both the hydrocarbonates and their mixtures with 1:1 mass ratio. Extinguishing occurred from the preflame zone of the preliminarily mixed propane-air flame by means of less than 80 μm diameter particles. Thermogravimetric analysis of the hydrocarbonates and their mixtures shows that potassium hydrocarbonate decomposes similarly to sodium hydrocarbonate. Thermal decomposition results in water and carbon dioxide, the thermometric parameters of the mixture dissociation are additive with regards to its components.

Prior to the flame zone, sodium hydrocarbonate looks like transparent irregular-shaped crystals of more than 40 μm diameter, while after the flame effect most particles retain the same shape and their size ranges from 40 to 60 μm . The x-ray phase analysis of the particles exposed to the flame proves that they consist of sodium carbonate ($\approx 73\%$) as well as sodium carbonate with three water molecules ($\approx 27\%$).

Prior to the flame zone, the basic KHCO_3 particles are transparent crystals sized less than 15–20 μm ($\approx 90\%$). After the flame zone effect most particles ($\approx 80\%$) are bigger than 50 μm , more than one half of them being of the spherical shape. Basically the particles are transparent and become whiter with time that phenomenon being typical for K_2CO_3 .

Prior to the flame zone most hydrocarbonate mixture particles size is below 15 μm . Approximately 29 % particles pass the flame zone without evaporation, out of which about 10 % are less than 1 μm . Big particles are of irregular shape sized from 50 up to 80 μm and also of spherical form sized from 30 up to 60 μm , that in accordance with the roentgenogram, are related to KNaCO_3 . Fire extinguishing mixture corresponds to the additive nature of extinguishing with regards to individual components.

The contribution of thermal losses in the flame extinguishing by means of hydrocarbonates and their mixtures is quite small. Fire extinguishing most likely is homogeneous. The powder particles undecomposed in the flame and having melting temperature below 1000 $^{\circ}\text{C}$ have been melted off and acquired a spherical shape.

Keywords: extinguishing; fire extinguishing powders; inhibition; inorganic salts.

REFERENCES

1. Baratov A. N., Vogman L. P., Kobzar V. N. et al. Ingibirovaniye plameni metana vzvesyami soley [Methane flame inhibition by salt suspension]. *Fizika gorennya i vzryva — Physics of Combustion and Explosion*, 1976, vol. 12, no. 1, pp. 72–75.
2. Bulewicz E. M., Kucnerowicz-Polak B. J., Wilczkowski S. et al. A comparative study of the effect of extinguishant powders on flame propagation in a vertical dust and on deflagration in an explosion chamber. *Archivum combustionis*, 1987, vol. 7, no. 1–2, pp. 99–109.
3. Chelliah H. K., Wanigarathne P. C., Lentati A. M. et al. Effect of sodium bicarbonate particle size on the extinction condition of non-premixed counterflow flames. *Comb. and Flame*, 2003, vol. 134, pp. 261–272.
4. Aleksandrov V. E., Vogman L. P., Baratov A. N. et al. Podavleniye plameni metano-vozdushnoy smesi poroshkovymi sostavami [Extinguishing of methane-air mixture flame by powders]. *Goryuchest ve-shchestv i khimicheskiye sredstva pozharotusheniya: sb. statey № 2* [Substance combustibility and fire extinguishing chemicals. Collection of articles no. 2]. Moscow, All-Union Research Institute for Fire Protection Publ., 1974, pp. 32–40.
5. Antsupov E. V. Synergism and antagonism in the action of powder inhibitors on propane-air flames. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2010, vol. 4, no. 1, pp. 75–80. doi: 10.1134/s1990793110010124.
6. Dobrikov V. V., Baratov A. N. Issledovaniye razogreva tverdogo chastitsy vo fronte plameni [Study of Initial Solid Particle Heating in the Flame Front]. *Gorennye i problemy tusheniya pozharov: mater. V Vsesoyuz. nauch.-prakt. konf.* [Combustion and Problems of Fire Extinguishing. Proceedings of Vth All-Union Scientific and Practical Conference]. Moscow, All-Union Research Institute for Fire Protection Publ., 1977, pp. 23–26.
7. Baratov A. N., Ivanov E. N. Pozharotusheniye na predpriyatiyakh khimicheskoy i neftepererabatyvayushchey promyshlennosti [Fire extinguishing at chemical plants and oil refineries]. Moscow, Khimiya Publ., 1979. 368 p.

Из пожарно-технического энциклопедического словаря

ИНГИБИРОВАНИЕ (горения) — прекращение процесса горения путем торможения химических реакций, протекающих в пламени. Ингибирование заключается в обрыве разветвленных цепных реакций путем связывания активных центров (атомарных частиц и радикалов), ответственных за развитие процессов горения. Ингибируется горение органических веществ, окисление которых связано с накоплением термодинамически сверхравновесных концентраций активных центров. Процесс горения веществ, окисление которых происходит без накопления сверхравновесных активных центров (например, металлов), не ингибируется.

ИНГИБИТОРЫ — вещества, тормозящие химические реакции. Ингибитор вводится в систему в концентрации много меньшей, чем концентрации реагирующих веществ.

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: kafedrapb@yandex.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: kafedrapb@yandex.ru)

УДК 614.841.123.24

ТУШЕНИЕ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Описан механизм тушения пожаров горючих жидкостей с высокой температурой вспышки тонкораспыленной водой. Рассмотрены основные параметры очага горения в процессе тушения распыленной водой.

Ключевые слова: тушение пожаров горючих жидкостей; распыленная вода; горючие жидкости с высокой температурой вспышки; охлаждение поверхности горючей жидкости.

Механизм тушения пожаров горючих жидкостей (ГЖ) с высокой температурой вспышки определяется физико-химической природой и составом жидкости, а также дисперсностью капель воды.

Независимо от характера взаимодействия распыленной воды с горящей жидкостью тушение пламени может произойти только в результате охлаждения зоны горения до температуры потухания, что может быть достигнуто различными способами:

- за счет испарения капель воды непосредственно в зоне горения;
- снижением тепловыделения в зоне горения;
- разбавлением горючей смеси водяным паром;
- снижением скорости поступления горючей паровоздушной смеси в результате охлаждения поверхности или разбавления горючей жидкости водой.

Процесс воздействия горючих жидкостей на зону горения, как правило, непродолжителен (всего несколько секунд). Применение водяных струй с высокой степенью распыла ограничивается областью тушения относительно небольших очагов возгорания с помощью передвижной пожарной техники, использующей специальные распылители и насосы высокого давления.

В автоматических водяных и пенных системах пожаротушения в качестве диспергирующих устройств используются дренчеры и спринклеры, которые обеспечивают грубодисперсный распыл воды (средний диаметр капель около 2 мм). Оросители устанавливаются, как правило, на потолочных перекрытиях, поэтому мелкодисперсная фракция распыленной струи испаряется в нагретых продуктах горения.

Капли крупных размеров практически не испаряются в газовой фазе благодаря не только высокой

скорости их полета, но и малой удельной площади поверхности теплообмена. В этом случае тушение ГЖ, имеющих температуру вспышки более 90 °С, происходит за счет охлаждения поверхности до температуры ниже температуры вспышки, при которой скорость испарения горючей жидкости недостаточна для создания необходимой для горения концентрации горючего в газовой смеси с воздухом. Процесс тушения в этом случае сводится к двум аспектам:

- собственно охлаждение поверхности;
- поглощение теплового потока, идущего от факела пламени к поверхности горючей жидкости, каплями воды.

При горении жидкостей, имеющих температуру кипения выше температуры окружающей среды, температура поверхности жидкости всегда ниже температуры ее кипения, поскольку часть тепла из поверхностного слоя непрерывно отбирается на испарение горючей жидкости.

Вопрос об охлаждении поверхности, представляющей собой границу раздела *пар – жидкость*, является неоднозначным в смысле постановки краевых условий в задаче о теплообмене в процессе тушения ГЖ охлаждением ее поверхности. Теоретически для достижения условия потухания пламени достаточно охладить до температуры вспышки тончайший слой жидкости, примыкающей к границе раздела *жидкость – пар*, причем минимальная толщина этого слоя должна быть не меньше размера испаряющихся молекул, а максимальная определяется диаграммой изменения фундаментального параметра системы — плотности. Именно этот параметр является индикатором перехода жидкости в пар.

Плотность на границе раздела меняется скачкообразно, и синхронно с этим параметром меняются теплоемкость, теплопроводность и ряд других параметров, определяемых концентрацией молекул в единице объема.

В отличие от твердых тел, у которых передача тепла от поверхности осуществляется за счет молекулярной теплопроводности, в жидкостях теплопередача происходит преимущественно путем конвекции, т. е. молекулы жидкости непрерывно перемещаются из поверхностного слоя вглубь жидкости и из близлежащих слоев к поверхности раздела.

Таким образом, вместо понятия “граница раздела *жидкость – пар*” необходимо употребить понятие “нагретый поверхностный слой жидкости”. Естественно, что в условиях конвективного переноса тепла в поверхностном слое, нагретом до температуры, превышающей температуру вспышки, охладить поверхность до температуры вспышки удастся только после съема избытка тепла, запасенного в нагретом поверхностном слое.

Учитывая, что толщина поверхностного слоя, нагретого до температуры вспышки, не превышает 1,0...1,5 мм, и принимая во внимание высокую скорость полета и размер капель воды, можно представить, что процесс охлаждения поверхности водой должен привести к интенсивному перемешиванию жидкости в поверхностном слое и конвективному тепло- и массообмену между нагретым поверхностным слоем и глубинными слоями жидкости. Последний эффект указывает на дополнительный фактор, способствующий охлаждению поверхностного слоя при тушении пламени ГЖ водой за счет его перемешивания с “холодными” нижележащими слоями жидкости.

В принципе при тушении ГЖ водой возможна ситуация, при которой горючая жидкость имеет плотность, близкую к плотности воды. В этом случае капли воды могут испаряться в течение небольшого периода времени в режиме “зависания” непосредственно над горящей поверхностью.

Таким образом, тушение пожаров ГЖ охлаждением ее поверхности распыленной водой ведет к охлаждению поверхностного слоя жидкости, нагретого в процессе горения до температуры ниже температуры вспышки горючего.

В процессе тушения ГЖ грубодисперсной распыленной водой поток воздуха, эжектируемый струей распыленной воды, с одной стороны, меняет форму факела пламени, который прижимается к поверхности ГЖ и резко увеличивается по площади, а с другой — повышает температуру в зоне горения за счет интенсивного перемешивания паров ГЖ с воздухом. Визуально отмечается образование на поверхности стоячих волн, что ведет к увеличению площади поверхности испарения в процессе тушения.

Естественно, что при тушении ГЖ грубодисперсной водой факел пламени исчезает только после охлаждения поверхностного слоя до температуры вспышки, поэтому момент тушения пламени соответствует достижению поверхностью данной температуры. Средняя температура поверхностного слоя в стационарном режиме горения поддерживается в результате динамического равновесия установившихся тепловых потоков от факела пламени к поверхности, от поверхностного слоя вглубь жидкости и за счет испарения горючего с постоянной скоростью выгорания. При подаче распыленной воды установившееся динамическое равновесие нарушается. Распыленная вода резко снижает интенсивность лучистого потока тепла, идущего от факела пламени к поверхности, при этом температура воды в каплях возрастает.

При некоторой интенсивности подачи J возникает ситуация, при которой доля тепла, поступающего от факела пламени к поверхностному слою ГЖ, становится равной тепловому потоку, отбираемому водой от поверхностного слоя. В этой ситуации температура поверхностного слоя начинает понижаться за счет теплоотвода вглубь жидкости, и пламя однозначно потухает через промежуток времени, который определяется интенсивностью этого теплоотвода. Но эта интенсивность еще не критическая.

В условиях, когда время тушения затягивается и составляет 5...10 мин, заданной интенсивности подачи воды оказывается недостаточно для компенсации теплового потока, поступающего от факела пламени к поверхностному слою. Поэтому время тушения будет больше, а интенсивность подачи воды станет явно критической ($J_{кр}$):

$$\frac{n(u_m^0 Q_n)}{Q_w} > J_{кр} > \frac{\alpha}{Q_w} \frac{dT_F}{dz}, \quad (1)$$

где n — коэффициент, учитывающий потери тепла излучением ($n \approx 0,6$);

u_m^0 — удельная массовая скорость выгорания ГЖ в установившемся режиме горения до начала тушения;

Q_n — низшая теплота сгорания ГЖ;

Q_w — удельное количество тепла, отбираемое водой от поверхностного слоя ГЖ в процессе тушения;

α — коэффициент теплоотдачи;

T_F — температура факела пламени;

z — толщина прогретого слоя.

В соответствии с проведенным анализом критическая интенсивность подачи воды $J_{кр}$ может быть выражена соотношением

$$\frac{n(u_m^0 Q_n)}{Q_w} \geq J_{кр} \geq \frac{\alpha}{Q_w} \frac{dT_F}{dz}.$$

Полагая в первом приближении, что скорость выгорания жидкости численно равна скорости ее испарения в условиях пожара, можно выявить однозначную взаимосвязь между основными параметрами, характеризующими тепловой режим горения.

В установившемся режиме горения скорость выгорания определяется потоком тепла от факела пламени к поверхности жидкости:

$$u_m^0 = [\alpha (T_F - T_s)] / Q_\Gamma, \quad (2)$$

где T_s — температура поверхности ГЖ;

Q_Γ — удельная теплота испарения ГЖ.

Коэффициент теплоотдачи α определяется из эксперимента, и его величина практически постоянна при горении веществ одного гомологического ряда. Так, для пожаров углеводородов $\alpha \cong (24 \pm 2) \text{ Дж}/(\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К})$. При горении метанола и альдегидов, в молекулах которых атомов кислорода не меньше, чем углерода, пламя практически прозрачно, поэтому лучистый поток к поверхности горения заметно ниже, чем при горении углеводородов. Для этих систем $\alpha = (18 \pm 1) \text{ Дж}/(\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Формула (2) показывает взаимосвязь основных параметров в процессе горения. Скорость выгорания будет тем выше, чем больше температура пламени и чем ниже температура поверхности горения.

Удельная массовая скорость выгорания жидкости определяется экспериментально по изменению массы жидкости за определенный промежуток времени. По существу, анализируется процесс испарения горючей жидкости, но по аналогии с горением предварительно перемешанных газовых смесей на диффузионное горение жидкости автоматически переносится адекватность понятий скорости подачи газовой смеси (испарения) и скорости горения (выгорания).

В отличие от кинетического пламени скорость горения жидкости, а точнее ее паров в смеси с воздухом, отличается от скорости испарения. Если рассматривать процесс горения жидкости с позиции образования конечных продуктов в результате этого процесса, то их суммарная масса или объем, выделившийся за единицу времени и приведенный к нормальным условиям, окажется в 90...95 раз больше, чем расход горючего газа. Этот результат является естественным, поскольку для окисления одного объема горючего газа необходимо 90...95 объемов воздуха.

В общем случае скорость испарения жидкости определяется суммой мольного и диффузионного потоков пара. Детальный анализ процесса испарения с открытой поверхности был дан Стефаном в 1882 г., а опыты Винкельмана (1888 г.) вполне подтвердили его теоретические выкладки, поэтому

формула (3), описывающая испарение жидкости с учетом мольных потоков, носит имя Стефана:

$$u_m^0 = \frac{D_0}{RT_0} \left(\frac{T_F}{T_0} \right)^m \frac{P_a}{\delta} \ln \left(\frac{P_a - P_1}{P_a - P_s} \right), \quad (3)$$

где D_0 — коэффициент диффузии молекул ГЖ в газовой фазе при нормальной температуре T_0 ;

R — универсальная газовая постоянная;

P_a — атмосферное давление;

δ — толщина диффузионного слоя;

P_1 — давление пара ГЖ в окружающей среде на расстоянии от поверхности, равном толщине диффузионного слоя δ ;

P_s — давление насыщенного пара ГЖ при температуре поверхности T_s .

Показатель степени m в формуле (3) для углеводородов приблизительно равен 2.

С помощью формулы (3) можно проанализировать влияние на скорость испарения ГЖ основных параметров, изменяющихся в процессе тушения водой:

- температуры поверхности;
- температуры газовой фазы;
- толщины диффузионного слоя;
- структуры молекул горючего (через коэффициент диффузии молекул в паровой фазе);
- концентрации паров жидкости в окружающей среде.

В соответствии с формулой Стефана (3) скорость выгорания (испарения) будет тем выше, чем больше давление насыщенного пара жидкости P_s и чем выше температура в факеле пламени T_F . При горении величина P_1 , как правило, очень мала, поскольку измеряется в зоне горения, а толщина диффузионного слоя измеряется от поверхности ГЖ до зоны горения. При ламинарном горении ГЖ в цилиндрических горелках толщина диффузионного слоя равна высоте свободного борта, а при турбулентном горении — фактическому расстоянию до факела пламени. В случае горения капель ГЖ при их истечении из отверстий толщина диффузионной зоны равна толщине слоя воздуха, не превышающей размер капли.

Скорость выгорания ГЖ в процессе тушения водой снижается вследствие не только понижения температуры газовой фазы, но и в результате охлаждения поверхности жидкости. Взаимосвязь между давлением насыщенного пара и температурой жидкости определяется уравнением Клаузиуса–Клапейрона:

$$\ln \left(\frac{P_s}{P_a} \right) = - \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_0} \right), \quad (4)$$

где ΔH — теплота испарения ГЖ.

При тушении ГЖ высокодисперсной водой ее капли не долетают до поверхности жидкости, испаряясь в зоне горения и в предпламенной зоне. В результате температура газовой фазы снижается, и синхронно понижается скорость доставки паров горючего, что в свою очередь уменьшает интенсивность выделения тепла. В этом случае снижение скорости выгорания происходит синхронно с охлаждением факела пламени, а количественным критерием потухания пламени является температура, при которой поток испаряющейся жидкости не обеспечивает концентрацию, необходимую для горения, т. е. она оказывается в смеси ниже нижнего концентрационного предела воспламенения (НКПВ).

Физико-химические свойства горючей жидкости, такие как вязкость, плотность, растворимость в воде, а также наличие в ней компонентов с различной плотностью и температурой кипения определяют характер распределения температуры от поверхности вглубь жидкости.

Однокомпонентные жидкости (ГЖ) и смеси веществ с небольшим различием плотности в процессе горения приобретают экспоненциальный (спадающий) профиль температуры, а типичные много-

компонентные жидкости — бензин и нефть, состоящие из широкой фракции углеводородов, сильно различаются по плотности и температуре кипения, при горении быстро прогреваются вглубь, формируя гомотермический слой с температурой 150...200 °С.

Поскольку при длительном горении толщина гомотермического слоя велика, распыленная вода, попавшая в процессе тушения в горящую нефть, обязательно испарится. Тогда тушение пламени может произойти раньше, чем поверхность нефти охладится до температуры вспышки.

Иная ситуация может сложиться при тушении высоковязких масел и мазута. В этом случае капли воды в процессе тушения начнут накапливаться на охлажденной поверхности горючего. В результате коэффициент использования воды увеличится за счет более длительного контакта воды с нагретой поверхностью.

Если капли воды содержат добавки, резко снижающие поверхностное натяжение раствора и обеспечивающие его растекание по ГЖ, то время контакта капель с поверхностью также возрастет, что повысит коэффициент использования воды за счет увеличения доли испарившихся капель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Материал поступил в редакцию 27 июня 2013 г.

English

EXTINGUISHING OF COMBUSTIBLE LIQUID BY ATOMIZED WATER

SHAROVARNIKOV A. F., Doctor 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: kafedrapb@yandex.ru)

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: kafedrapb@yandex.ru)

ABSTRACT

The fire control mechanism of combustible liquids (CL) with high flashpoint is determined by physical and chemical composition of liquid as well as dispersion of water drops.

Fire extinguishing is possible only if the burning zone has been cooled to the extinction temperature regardless of the cooperation behaviour of sprayed water and combustible liquid. It could be achieved by various methods:

- at the expense of evaporation of water drops directly in the burning zone;
- reduction of heat emission in the burning zone;
- dilution of gas mixture with water vapour;
- reduction of the inflow speed of air-vapor mixture by the surface cooling or by dilution of combustible liquid with water.

The surface is given a *liquid – vapour* interface, and the issue of the surface cooling is ambiguous for stating the boundary conditions in a heat exchange problem in the process of extinguishing of CL by cooling its surface. In theory cooling of the thinnest liquid layer bordering the *liquid – vapour* interface to the flashpoint will be enough to fulfill the conditions of fire extinction. Though, the minimal thickness of this layer is not to be larger than evaporating molecules, and the maximal one is defined by the variation diagram of fundamental system parameter — density. This very parameter indicates *liquid – vapour* transition.

The term “hot boundary liquid layer” should be used instead of the term “*liquid – vapour* interface”. It is natural that in conditions of heat convection in the boundary layer heated to the higher temperature than the flashpoint, one will manage to cool the surface to the flashpoint only after excessive heat accumulated in hot boundary layer has been removed.

The flying speed and the size of water drops are very high; therefore, provided that the thickness of the boundary layer heated to the flashpoint does not exceed 1.0–1.5 mm one can imagine that the process of the surface cooling by water will lead to intensive mixing of liquids in the boundary layer and convective heat and mass exchange between the hot boundary layer and deep layers of the liquid. The latter effect denotes an additional factor that contributes to the cooling of the boundary layer during extinguishing of CL whereas it mixes up with “cold” underlying layers of the liquid.

When the CL is being quenched with gross water, the flame torch disappears only after the boundary layer has been cooled to the flashpoint, therefore the moment of fire suppression coincides the moment when the surface reaches this temperature. An average temperature of the boundary layer in steady state of combustion is maintained due to dynamic equilibrium of established heat flows from the flame torch to the surface, from the boundary layer into the depths of the liquid and as a result of fuel evaporation and constant burnout velocity. If dispersed water is supplied to the burning zone, it disturbs the established dynamic equilibrium. The dispersed water dramatically reduces the intensity of a radiant heat flow from the flame torch to the surface, meanwhile the temperature of water drops increases.

When the CL is being quenched with finely dispersed water, its drops do not reach the surface of the liquid, they evaporate in the burning area and pre-flame area. As a result, the temperature of gas phase and the speed of vapour inflow decrease synchronously which respectively reduces the intensity of heat release. In this case reduction of burnout velocity is synchronous to the cooling of the flame torch, and the quantitative criterion of fire extinction is the temperature at which the flow of the evaporating liquid is not concentrated enough to keep burning, i. e. the liquid appears to be in the mixture under lower explosive limit (LEL).

Keywords: fire control of combustible liquids; dispersed water; combustible liquids with high flashpoint; surface cooling of combustible liquid.

REFERENCES

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

УДК 614.841.33

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ПЛЕНУ ПРОБЛЕМ

© **В. С. ТИМОШИН**, инженер пожарной безопасности, член-корреспондент
Всемирной академии наук комплексной безопасности, эксперт в области
пожарной безопасности (Россия, г. Москва; e-mail: vladi-timoshin@yandex.ru)

Сегодня работа специалистов, занимающихся проектированием противопожарной защиты, сродни работе сапера: такое ощущение, что находишься на минном поле и не знаешь, где нарвешься на мину. Но еще больше она напоминает канатоходца: шаг влево, шаг вправо — и все!

Разве может быть нормальным такое положение, при котором один федеральный закон, разработанный в одном ведомстве, устанавливает свои “правила игры” в области обеспечения пожарной безопасности, а второй федеральный закон, разработанный другим ведомством, — свои? Что делать, если в разных нормативных документах содержатся одинаковые требования, но зачастую указаны совершенно различные способы их выполнения; если согласно одному федеральному закону Специальные технические условия на проектирование противопожарной защиты (СТУ) надо разрабатывать чуть ли не по каждому отступлению от требований нормативных документов, а по другому — только при отсутствии норм?!

Что делать проектировщику в данной ситуации, и почему он, вместо того чтобы заниматься своим делом, должен разбираться в перипетиях и нюансах системы противопожарного нормирования? Разве в этом его задача? Нет и еще раз нет! Его задача запроектировать объект, удовлетворяющий всем современным требованиям по обеспечению безопасности.

Самое удивительное заключается в том, что система двойных стандартов, существующая в нашей стране с 2010 г., как это ни странно, вполне соответствует общим принципам нормативного правового регулирования, установленным Федеральным законом № 184-ФЗ [1] (далее — ФЗ 184)! Так, и Федеральный закон № 384-ФЗ [2] (далее — ФЗ 384), и Федеральный закон № 123-ФЗ (далее — ФЗ 123 [3]), принятые в развитие ФЗ 184 [1], разработаны Министерством регионального развития России (Минрегион) и МЧС России в целях защиты жизни и здоровья граждан. И в том, и в другом законах определен перечень требований по пожарной безопасности.

Все законно и правильно с точки зрения и законодателей, и заинтересованных министерств и ведомств. Кроме того, все очень даже логично. Каждое

министерство занимается своим делом: Минрегион — осуществлением политики в области градостроительства, МЧС — вопросами пожарной безопасности. Вот только не совсем поддается логике положение, при котором противопожарным нормированием в области строительства вдруг стали заниматься одновременно оба эти ведомства. Минрегион, используя свой научно-практический потенциал и опыт строительства, разрабатывает свою нормативно-техническую базу — актуализированные редакции строительных норм и правил (далее — актуализированные СНИПы или строительные СП); МЧС, используя свой научный потенциал и большой опыт предупреждения, а главное, тушения пожаров, — свою (своды правил, содержащие противопожарные требования (далее — пожарные СП), выполнение которых подтверждает исполнение ФЗ 123 [3]). Однако МЧС, в отличие от Минрегиона, после вступления в силу в 2007 г. Федерального закона № 232-ФЗ [4] со строительством напрямую не связан.

Самое интересное то, что большинство противопожарных требований, изложенных в нормативных документах, составляющих доказательные базы вышеуказанных законов, как две капли воды похожи друг на друга, поэтому проектировщики, для того чтобы не ошибиться при проектировании, должны сверять нормативные документы на предмет соответствия требований, изложенных и в строительных, и в пожарных СП.

Хорошо еще, если они не противоречат друг другу, как, например, требования СП 113.13330.2012 [5] и СП 4.13130.2013 [6]. Так, по СП [5] открытой считается автостоянка, в которой не менее 50 % площади внешней поверхности ограждений на каждом ярусе (этаже) составляют проемы, остальное — парапеты, а по СП [6] — это сооружение, которое открыто, по крайней мере, с двух противоположных сторон наибольшей протяженности, а сторона считается открытой, если общая площадь отверстий, распределенных по стороне, составляет не менее 50 % наружной поверхности этой стороны в каждом ярусе. При этом в автостоянках открытого типа на основании СП 5.13130.2009 [7] допускается не предусматривать устройство систем автоматического пожаротушения и дымоудаления.

Как Вы думаете, на каком варианте устройства автостоянки остановится заказчик, которому необходимо построить открытую автостоянку в плотной жилой застройке? Естественно, на варианте, который позволяет исключить наружные стеновые ограждения, скажем, с трех сторон, составляющие не менее 50 % площади внешней поверхности ограждений на этаже, и вполне обоснованно считать такую автостоянку открытой. Какая получается экономия! Тем более что, выполняя требования [5], мы, по сути, не отступаем от общих принципов нормативного правового регулирования.

Некоторые строительные СП просто вызывают недоумение. Ознакомившись с СП 118.13330.2012 [8], очень трудно понять, как обеспечить пожарную безопасность общественных зданий и сооружений. В документе фактически отсутствуют ссылки на ФЗ 123 [3]. Данный закон, согласно [8], должен быть учтен при проектировании только систем пожарной сигнализации и оповещения о пожаре, в разделах же СП [8] “Обеспечение надежности...” и “Безопасность коммуникаций” указывается только на необходимость выполнения требований, содержащихся в соответствующих нормативных документах. В каких документах? Какие требования? По тексту СП [8] даются ссылки только на НПБ 110–03 [9] и СП 7.13130.2009 [10]. Почему требования к площадям пожарных отсеков указаны только для предприятий торговли и организаций бытового и коммунального обслуживания, а для остальных категорий общественных зданий они вообще отсутствуют? Отсутствие требований к ограничению распространения пожара только создает благоприятные условия для его распространения.

Не совсем также понятно, почему после внесения изменений в ФЗ 123 [3] нельзя было внести изменения и в пожарные СП? Теперь согласно Федеральному закону № 117-ФЗ [11] мы имеем право выполнять эвакуационные выходы из цокольных этажей по общим лестничным клеткам здания, а по СП 1.13130.2009 [12] и СП [6] — нет! Опять будем доказывать, что мы выполняем закон и нам не надо рассчитывать пожарный риск?

Вообще ситуация с издаваемыми в настоящее время пожарными и строительными СП не совсем понятна. Разве легитимно использование в проектировании данных сводов правил, если ни один из них не внесен в соответствии с постановлением Правительства РФ № 858 [13] (далее — Постановление 858) в перечни национальных стандартов и (или) сводов правил, утвержденные и опубликованные в установленном порядке?

Задача проектировщика состоит не в том, чтобы рассуждать о правомочности применения того или иного документа, а в том, чтобы проектировать. Од-

нако перед ним лежит нормативный документ, который утвержден приказом Минрегиона или МЧС, зарегистрирован Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) и в котором даже указана дата введения его в действие. Как проектировщик должен поступить? Применять старые СНиПы, которые согласно письму Минрегиона № 18529-08/ИП-ОГ [14] не отменены, или уже использовать требования новых строительных СП?

Конечно, можно своим ведомственным приказом ввести в действие новый нормативный документ (СП 2.13130.2012 [15], СП 4.13130.2013 [6], СП 6.13130.2013 [16], СП 7.1313.2013 [10]), отменив при этом ранее действующий, но как можно этим же приказом, ссылаясь на Постановление 858 [13], указывать на то, что применение настоящего документа обеспечит соблюдение требований ФЗ 123 [3]? Непонятно!

Завершая разговор о сводах правил, нельзя не отметить наметившуюся в последнее время тенденцию (хотя и слабую) по сближению позиций МЧС и Минрегиона по вопросам разработки нормативных документов, содержащих противопожарные требования. Подтверждением тому может служить прошедший 23 ноября 2012 г. в ФГБУ ВНИИПО МЧС РФ круглый стол на тему: “Проблемы реализации положений нормативно-правовых документов в области пожарной безопасности” (далее — Круглый стол), на котором присутствовали представители Минрегиона, МЧС, Минразвития, Министерства юстиции, а также Главгосэкспертизы, научных и общественных организаций.

По итогам Круглого стола МЧС и Минрегиону было рекомендовано подготовить и утвердить проект регламента взаимодействия между данными министерствами при разработке нормативных документов, содержащих требования пожарной безопасности. Очень надеюсь на то, что данная работа не будет остановлена!

К большому сожалению, на данном мероприятии так и не была дана оценка действующим сегодня двойным стандартам в системе противопожарного нормирования. Создалось такое впечатление, что это не та проблема, которую необходимо обсуждать, и это при том, что в каждом министерстве свой взгляд на многие вопросы обеспечения пожарной безопасности.

Попробуйте, например, доказать в органах Госэкспертизы любого уровня, что Вы поступаете в полном соответствии с требованиями закона, обосновывая какое-либо отступление от пожарных СП расчетом пожарного риска, не разрабатывая при этом СТУ. У Вас абсолютно ничего не получится, и даже письма из МЧС (будь то центральный орган или

управление на региональном уровне), подтверждающие правильность выбранного решения (и не только по расчетам), ничем Вам не помогут. Можно сколько угодно говорить, что в ФЗ 123 [3] четко прописаны критерии обеспечения пожарной безопасности, что министром МЧС утверждены методики по расчетам пожарного риска, зарегистрированные в Минюсте России, никто Вас не услышит! Аргументация простая: расчет риска может применяться для обоснования только тех характеристик здания, которые используются в методике расчета, т. е. для обоснования отступлений по путям эвакуации (и то не по всем), пожарной сигнализации и пожаротушению, а по остальным отступлениям — нет. Ни в одном нормативном документе такого требования нет, только в Методических рекомендациях, определяющих порядок построения и оформления СТУ, утвержденных решением Нормативно-технического совета Минрегиона [17] (далее — Методические рекомендации). Однако данный документ согласно [1] носит рекомендательный характер, и его требования не относятся к обязательным. Значит, получается, что рекомендации выше закона? Если нет, то в чем причина?

Никто не спорит, что проблемы с расчетом пожарного риска есть, и немалые, особенно после выхода приказа МЧС № 749 [18], в соответствии с которым из методики по расчету пожарных рисков вычеркнуты объекты класса функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.3 и Ф1.4. Но закон-то никто не отменял! Почему проектировщики стали заложниками ситуации? В чем они виноваты? Кстати, и на Круглом столе этот вопрос рассматривался, но, к сожалению, за рамки обсуждения не вышел. Все согласились с тем, что методику надо дорабатывать, но никто из представителей министерств и ведомств не высказал желания пойти на компромисс. Значит, этим вопросом должны заниматься заказчики и проектировщики? Писать обращения в Государственную Думу, МЧС, Минрегион? Выходит, так! Не думаю, что это правильно.

Почему бы МЧС и Минрегиону не выработать совместную позицию по вопросам применения и ФЗ 384 [2], и ФЗ 123 [3], разработав регламент взаимодействия? Вряд ли этот шаг негативно повлияет на авторитет обоих министерств, но то, что он существенно облегчит жизнь всех, кто связан с вопросами обеспечения пожарной безопасности, совершенно точно.

Следующий немаловажный вопрос — разработка и согласование Специальных технических условий на проектирование противопожарной защиты.

Сегодня понять, когда надо разрабатывать СТУ, а когда — нет, очень сложно. Так, в апреле месяце текущего года на сайте МЧС был опубликован

“Обобщенный перечень технических решений, согласованных Главным государственным инспектором Российской Федерации по пожарному надзору (или одним из его заместителей)”. Следуя логике данного документа, в нормативных документах, оказывается, отсутствуют требования к механизированным автостоянкам, многофункциональным комплексам и дизель-генераторным, размещаемым в зданиях классов функциональной пожарной опасности Ф2–Ф4. Довольно странно было это узнать, ведь в СП [16] содержатся требования и к автостоянкам, и к зданиям жилого и общественного назначения, являющимся, по сути, многофункциональными комплексами, так как в них фактически могут размещаться группы помещений или отдельные помещения различного функционального назначения, а требования к дизель-генераторным указаны в СНИП II-11-77* [19].

Для чего вводить в заблуждение заказчиков и проектировщиков? Тут и так не перестаешь удивляться, когда в учреждениях Госэкспертизы, а иногда и в надзорных органах требуют разработки СТУ чуть ли не по каждому отступлению от требований нормативных документов. Логика очень простая: если у Вас в реконструируемом здании предусмотрена лестничная клетка с лестничными маршами шириной 1,20 м (вместо требуемой по нормам 1,35 м) или длина коридора превышает нормативную и т. д., значит, на это здание отсутствуют нормы проектирования. Как при этом быть с СП [16], где четко прописано, что настоящий свод правил не распространяется только на здания и сооружения класса функциональной пожарной опасности Ф1.3 высотой более 75 м и здания и сооружения других классов функциональной пожарной опасности высотой более 50 м, а также на объекты специального назначения. Значит, нормы все-таки существуют, но попробуйте объяснить это эксперту или инспектору.

Непростая ситуация складывается и с уникальными объектами культурного наследия. Чем уникальным, кроме, естественно, исторического и культурного значения, обладают эти здания? Высотой более 50 м или больше двух подземных этажей (бывает, правда, но очень редко)? Или каким-то новым функциональным назначением, приобретенным после реконструкции, не определенным ФЗ 123 [3]? Конечно, специфика таких объектов не всегда позволяет выполнить все современные противопожарные требования, но зачем по каждому из них делать СТУ? Недостаточно ли разработать дополнительные противопожарные компенсирующие мероприятия, как это было до введения ФЗ 123 [3]? Разве после введения закона что-то кардинально изменилось? Читая письмо МЧС от 21.05.2009 г. № 43-1855-19, понимаешь, что да, изменилось. Оказывается, на уни-

кальные объекты культурного наследия нормы проектирования отсутствуют, а следовательно, на основании ст. 78 [3] требуется разработка СТУ.

Вот заказчик в своем техническом задании на проектирование и требует обязательной разработки СТУ чуть ли не по каждому объекту, будь то одноэтажный склад-ангар или 14-этажный жилой дом. Вдруг в учреждении Госэкспертизы их потребуют, и что тогда делать? Где взять необходимые средства, тем более если объект финансируется из государственного бюджета? Кто должен регулировать этот процесс, разъяснять экспертам и инспекторам? Проектировщики с заказчиками? Почему бы Минрегиону и МЧС, взяв за основу Методические рекомендации [17], не разработать совместный документ, будь это те же самые рекомендации или нормы, содержащие требования к разработке СТУ (включающие в себя том числе критерии разработки СТУ), тем более что ФЗ 184 [1] позволяет это сделать.

Следующий вопрос связан с применением требований нормативных документов по пожарной безопасности к существующим зданиям и сооружениям.

В соответствии с требованиями Правил противопожарного режима в Российской Федерации [20] руководитель организации при эксплуатации эвакуационных путей и выходов должен обеспечить соблюдение требований нормативных документов по пожарной безопасности. Это фактически позволяет сотрудникам надзорных органов при проведении мероприятий по надзору на объектах защиты

использовать требования любых действовавших до дня вступления в силу соответствующих технических регламентов норм пожарной безопасности, стандартов, инструкций и иных документов, содержащих требования пожарной безопасности, независимо от того, когда построено здание — в 60–70-е или 80-е годы XX века либо в начале XXI века. Каким образом в трехэтажном здании, построенном в начале 70-х годов прошлого века, можно изолировать лестничную клетку подвальной части от общей лестничной клетки или выполнить дымоудаление из коридоров, не имеющих естественного освещения? По ранее действующим нормативам это допускалось. Сегодня — нет! Считаю, что данное требование в [20] необходимо привести в соответствие со ст. 4 [3], не позволяющей предъявлять требования данного закона к уже существующему зданию, если его положениями устанавливаются более высокие требования пожарной безопасности, чем требования, действовавшие до вступления в силу ФЗ 123 [3].

В заключение хотелось бы отметить, что при решении вопросов обеспечения пожарной безопасности должен преобладать государственный интерес и пора бы всем заинтересованным министерствам и ведомствам прийти, в конце концов, к одному знаменателю в вопросах определения единой политики в данной области. Чем больше будет накапливаться вопросов и проблем, тем быстрее мы все окажемся в тупике, поэтому их надо решать сейчас. И если для их решения компромисс является единственным выходом — значит, надо идти на него.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О техническом регулировании (в ред. Федер. закона от 30.12.2009 г. № 385-ФЗ) : Федер. закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ; принят Гос. Думой 15.12.2002 г.; одобрен Сов. Федерации 18.12.2002 г. // Российская газета. — 2002. — № 245.
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ; принят Гос. Думой 23.12.2009 г.; одобрен Сов. Федерации 25.12.2009 г. // Российская газета. — 31.12.2009 г. — № 255; Собр. законодательства РФ. — 04.01.2010 г. — № 1, ст. 5.
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Российская газета. — 2008. — № 163; Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
4. О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и некоторые другие законодательные акты Российской Федерации : Федер. закон от 18.12.2006 г. № 232-ФЗ; принят Гос. Думой 24.11.2006 г.; одобрен Сов. Федерации 08.12.2006 г. URL : www.rg.ru/2006/12/23/kodeks-izmeneniya.html (дата обращения: 07.06.2013 г.).
5. СП 113.13330.2012. Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99* : приказ Минрегиона России от 29.12.2011 г. № 635/9; введен 01.01.2013 г. URL : www.skonline.ru/doc/62884.html (дата обращения: 07.06.2013 г.).
6. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям : приказ МЧС РФ от 25.03.2009 г. № 174; введен 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

7. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 175; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
8. СП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009 : приказ Минрегиона РФ от 29.12.2011 г. № 635/10; введ. 01.01.2013 г. — М. : ФАУ ФЦС, 2012. — 77 с.
9. НПБ 110-03. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией : приказ МЧС России от 18.06.2003 г. № 115; введ. 30.06.2003 г. — М. : ГУГПС и ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003.
10. СП 7.13130.2009. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 177; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
11. О внесении изменений в Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” : Федер. закон РФ от 10.07.2012 г. № 117-ФЗ; принят Гос. Думой 20.06.2012 г.; одобрен Сов. Федерации 27.06.2012 г.; введ. 12.07.2012 г. // Российская газета. — 13.07.2012 г. — Федер. вып. № 5832. URL : www.rg.ru/2012/07/13/reglament-dok.html (дата обращения: 07.06.2013 г.).
12. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с изм.: приказ МЧС РФ от 09.12.2010 г. № 639) : приказ МЧС РФ от 25.03.2009 г. № 171; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
13. О порядке разработки и утверждения сводов правил : постановление Правительства РФ от 19.11.2008 г. № 858. URL : ohranatruda.ru/otbiblio/normativ/data/normativ/54/54461/index.php (дата обращения: 07.06.2013 г.).
14. О разъяснении статуса сводов правил — актуализированных СНиПов : письмо Минрегиона от 15.08.2011 г. № 18529-08/ИП-ОГ // Нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве : информ. бюл. — 2011. — № 5.
15. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 172; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
16. СП 6.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 176; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
17. Методические рекомендации. Порядок построения и оформления специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства : утв. решением НТС Минрегиона (протокол от 01.02.2011 г. № 1) — М., 2010. — 24 с. URL : www.base.garant.ru/70250528 (дата обращения: 07.06.2013 г.).
18. О внесении изменений в методику определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденную приказом МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 : приказ МЧС РФ от 12.12.2011 г. № 749; зарег. в Минюсте РФ 30.12.2011 г., рег. № 22871; введ. 26.05.2012 г. // Бюл. нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 26.03.2012 г. — № 13.
19. СНиП II-11-77. Защитные сооружения гражданской обороны : постановление Госстроя СССР от 13.10.77 г. № 158; введ. 01.07.78 г. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1987.
20. Правила противопожарного режима в Российской Федерации : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 г. № 390 // Российская газета. — 2012. — № 93.

Материал поступил в редакцию 23 июня 2013 г.

СКОЛЬКО В ДОМЕ ПЕРВЫХ ЭТАЖЕЙ? (О формулировках в нормативных документах)

© Н. В. ЛАНДЫШЕВ, канд. техн. наук, доцент,
заведующий лабораторией “Пожарная и промышленная безопасность”
Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта
(Россия, 107996, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., 10; e-mail: lan-info@mail.ru)

Нечеткие формулировки в нормативно-технических документах по пожарной безопасности порождают разное толкование требований. Один из примеров — требование о размещении детских дошкольных образовательных учреждений (ДОУ), именуемых по-старому детскими садами, в жилых домах. В СП 4.13130.2009 [1] детские дошкольные образовательные учреждения предусматривалось размещать в отдельно стоящих зданиях (п. 5.1.3).

Приказом МЧС РФ от 27.05.2011 г. № 266 в СП 4.13130.2009 [1] было внесено изменение № 1. В частности, в новой редакции п. 5.1.3 стал звучать так: “Объекты защиты класса функциональной пожарной опасности Ф1.1 и Ф4.1 при размещении в зданиях иного класса функциональной пожарной опасности должны выделяться в самостоятельные пожарные отсеки, к которым предъявляются требования исходя из их класса функциональной пожарной опасности. При размещении помещений детских дошкольных образовательных учреждений **на первых этажах** (Выделено авт.) зданий класса Ф1.3 выделять указанные помещения в самостоятельные пожарные отсеки не требуется”.

В новой редакции СП 4.13130.2013 (утв. приказом МЧС России от 24.04.2013 г. № 288 [2]) у процитированного выше пункта появился новый номер — 5.2.2, но его смысл практически остался прежним: “Объекты защиты класса функциональной пожарной опасности Ф1.1 должны размещаться в отдельно стоящих зданиях либо выделяться в самостоятельные пожарные отсеки при размещении в жилых и общественных зданиях иного класса функциональной пожарной опасности. При размещении помещений детских дошкольных образовательных учреждений **на первых этажах** (Выделено авт.) зданий класса Ф1.3 выделять указанные помещения в самостоятельные пожарные отсеки не требуется”.

Так как же понимать термин “первые этажи”?

ДОУ редко проектируют одноэтажными, в основном — двухэтажными, поскольку именно такое решение в большинстве случаев оптимально с точки зрения экономики. Исходя из требований пожарной безопасности трехэтажные здания детских дошкольных учреждений допускается проектировать толь-

ко в крупных и крупнейших городах (п. 6.7.12 СП 2.13130.2012 [3]). Поэтому проектировщики нередко полагают, что требования п. 5.2.2 СП 4.13130.2013 допускают размещать ДОУ на первом и втором этажах (пресловутые “первые этажи”) жилого дома без выделения в отдельный пожарный отсек.

Специалисты, занимающиеся экспертизой и согласованием проектов, трактуют это требование по-своему: если детсад занимает только первый этаж, то в отдельный пожарный отсек его выделять не надо, а если два этажа — то, будьте добры, выделяйте, ведь “первые этажи” — это только первый этаж, хотя и во множественном числе. А множественное число этого понятия — лишь неудачное его применение в формулировке требования. Вот если бы вместо “первых этажей” было бы требование “на нижних этажах” — тогда другое дело. В этом случае размещайте детсад хоть на двух этажах, хоть на трех без выделения в пожарный отсек.

Однако как отнесутся к инициативе переименования “первых этажей” в “нижние этажи” разработчики нормативных документов по пожарной безопасности? В частной беседе со мной один из разработчиков вышеупомянутого свода правил сообщил, что введение термина “нижние этажи” еще больше запутает ситуацию.

Надо полагать, что основная идея требования выделения помещений детсада в отдельный пожарный отсек — создать условия для предотвращения распространения возможного пожара из жилой части здания класса Ф1.3 (где чаще всего и возникают пожары) на помещения ДОУ. Но где здесь здравый смысл? Если уж разрешили не отделять противопожарными преградами 1-го типа детсад от жилого здания, то не все ли равно, с точки зрения предотвращения распространения пожара на расположенные ниже помещения ДОУ, сколько этажей занимает это учреждение — один или два?

Кстати, определения термина “первые этажи” нет ни в старом, ни в новом варианте СП [1, 2], как и в других нормативных документах.

Казалось бы, проблема не стоит и выведенного яйца. Не столь уж затратно увеличить предел огнестойкости стен и перекрытий, отделяющих ДОУ от

жилой части здания, до REI 150. Однако у этой ситуации есть подводные камни. Как быть, если часть детсада выступает за габариты жилого здания, т. е. детсад представляет собой встроенную пристройку. Если строго следовать букве норм, то в соответствии с требованиями п. 5.4.8 СП 2.13130.2012 [3] при разделении пожарных отсеков разной высоты стена более высокого отсека должна быть противопожарной, и в данном случае это — стена жилого дома.

Хорошо, если ДОУ примыкает к глухой стене жилого здания, а если — нет? Тогда окна в противопожарной стене жилого здания, расположенные над

кровлей примыкающего пожарного отсека (ДОУ) на расстоянии менее 8 м по вертикали от нее, следует предусматривать противопожарными, а выше этой отметки — в обычном исполнении (с ненормируемым пределом огнестойкости), как это допускается п. 5.4.13 [3]. И все бы ничего, да вот только противопожарные окна в этом случае должны быть неоткрывающимися! Интересно, а захочет ли кто-нибудь добровольно жить в квартире с такими окнами?

Словом, одна “загогулина” в нормативном документе в виде расплывчатой формулировки порождает серьезные проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 4.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям : приказ МЧС РФ от 25.03.2009 г. № 174; введ. 01.05.2009 г. (в соответствии с приказом МЧС РФ от 18.07.2013 г. № 474 утратил силу 29.07.2013 г.). — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
2. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям : приказ МЧС РФ от 18.07.2013 г. № 474; введ. 29.07.2013 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2013.
3. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : приказ МЧС России от 21.11.2012 г. № 693; введ. 01.12.2012 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2013.

Материал поступил в редакцию 11 июля 2013 г.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов.
ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие
 / Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова. —
 М. : ООО “Издательство “Пожнаука”, 2010. — 210 с.



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

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

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

28–30 мая

Красноярск

2014



X специализированный форум-выставка



- **Безопасность банковского сектора – NEW**
- Технические средства и системы безопасности
- Инженерно-технические средства физической защиты
- Пожарная безопасность
- Аварийно-спасательное оборудование
- Транспорт
- Экипировка. Индивидуальные средства защиты
- Информационная безопасность

РЕКЛАМА



сибирь
международный
выставочно-деловой центр



Организаторы:



Информационная поддержка:

БЕЗОПАСНОСТЬ
всероссийский специализированный журнал

ПОЖНАУКА
Издательство



МВДЦ «СИБИРЬ»

ул. Авиаторов, 19

тел.: (391) 22-88-400

22-88-611 – круглосуточно

ccb@krasfair.ru, www.krasfair.ru

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



**ВОПРОС:**

В соответствии с требованиями ст. 24 и 25 “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” (Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ) предусматривается классификация наружных установок по пожарной опасности.

Мы получаем замечания от органов экспертизы к проектной документации по вопросу об отнесении участков магистральных нефтепроводов к наружным установкам и, как следствие, их категорированию.

Прошу Вас разъяснить необходимость категорирования по пожарной и взрывопожарной опасности линейных объектов: магистральных нефтепроводов; магистральных нефтепродуктопроводов; магистральных газопроводов.

ОТВЕТ:

Характерной особенностью обозначенных выше линейных объектов (участков), по которым задается вопрос, является:

- транспортировка ЛВЖ, либо ГЖ, либо ГГ в теле герметичной трубы из металла с условным диаметром до 1400 мм;
- отсутствие фланцевых соединений (сварное соединение труб);
- отсутствие узлов запорной арматуры, узлов подключения НПС, КС, УЗРГ, ПРГ, узлов пуска и приема очистных устройств (данные элементы категорировуются отдельно);
- подземная или надземная прокладка;
- прокладка вне территорий производственных объектов и населенных пунктов.

Другими словами, речь идет исключительно об участках трубопроводов, по которым транспортируются обозначенные выше среды.

Данный вопрос можно разбить на две части. Первая часть касается замечаний экспертной организации по проектной документации, вторая — специфических особенностей магистральных трубопроводов, которые, по мнению автора вопроса, исключают возможность образования пожароопасной ситуации.

По первой части вопроса можно обратиться к пункту 13 ст. 2 Федерального закона № 123-ФЗ, в котором наружная установка рассматривается как “комплекс аппаратов и технологического оборудования, расположенных вне зданий, сооружений и строений”. Подпункт “в” пункта 2 “Положения о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию” (утв. постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87) относит трубопроводы к линейным объектам. В пункте 33 данного Положения записано: “Проектная документация на линейные объекты капитального строительства (далее — линейные объекты) состоит из 10 разделов, требования к содержанию которых установлены пунктами 34–42 настоящего

Положения”. В подпункте “ж” пункта 41 данного нормативного документа фактически отражены требования ст. 24 и 25 Технического регламента о требованиях пожарной безопасности, в которых говорится о необходимости категорирования по пожарной опасности наружных установок.

По своему назначению нефте- и нефтепродуктопроводы можно разделить на следующие группы: *промысловые* — соединяющие скважины с различными объектами и установками подготовки нефти на промыслах; *магистральные* — предназначенные для транспортировки товарной нефти и нефтепродуктов из районов их добычи (или хранения) до мест потребления (нефтебаз, перевалочных баз, пунктов налива в цистерны, нефтеналивных терминалов, отдельных промышленных предприятий и НПЗ); *технологические* — предназначенные для транспортировки в пределах промышленного предприятия или группы этих предприятий различных веществ, необходимых для ведения технологического процесса или эксплуатации оборудования.

В пункте 3 РД 153-39.4-113-01 “Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов” дано следующее определение: “*Магистральный нефтепровод* — инженерное сооружение, состоящее из трубопроводов с арматурой и связанных с ними нефтеперекачивающих станций, хранилищ нефти и других технологических объектов, обеспечивающих приемку, транспортировку, сдачу нефти потребителям или перевалку на другой вид транспорта”.

Исходя из вышесказанного, можно заключить, что линейная часть магистрального нефтепровода является сооружением и не относится к категории наружных установок. Кроме линейной части, в магистральный нефтепровод входят технологические объекты, которые в зависимости от конструкции попадают под категорию производственных помещений или наружных установок. Думаю, что необходимость их категорирования по пожарной опасности ни у кого не вызывает сомнений.

Несколько слов об отсутствии пожарной опасности у линейной части нефтепровода. Безусловно, отсутствие фланцевых соединений, запорной арматуры и т. п. на магистральном нефтетрубопроводе значительно снижает вероятность его разгерметизации, но не исключает полностью вероятности образования трещин, свищей и т. п., наличие которых неизбежно приведет к утечке нефтепродукта и созданию пожароопасной ситуации.

Ответ подготовил канд. хим. наук, доцент, чл.-корр. ВАН КБ, старший научный сотрудник научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” УрО РАН, старший научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России **С. Г. АЛЕКСЕЕВ**

**ВОПРОС:**

Каким образом осуществляется выбор и применение взрывозащищенного электрооборудования иностранного производства на территории РФ?

ОТВЕТ:

Порядок выбора взрывозащищенного электрооборудования (далее — Ех-оборудование) не изменился. Он основан на сопоставлении маркировок зарубежного оборудования с маркировками, предусмотренными государственными стандартами РФ. В маркировке взрывозащиты заложены основные параметры (вид, подгруппа, температурный класс, уровень), позволяющие определить конкретные условия использования данного оборудования (категория и группа взрывоопасной смеси, класс зоны, в которой допускается применение оборудования).

Международной электротехнической комиссией (МЭК) проделана большая работа по приведению стандартов разных стран к единым международным требованиям, касающимся Ех-оборудования. Выбор оборудования осуществляется в соответствии с ГОСТами серий МЭК 60079 и 61241. Однако отдельные страны продолжают пользоваться собственными национальными стандартами, что затрудняет процесс выбора необходимого оборудования.

Для применения Ех-оборудования на территории РФ необходимо получить разрешение центрального аппарата Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) [1]. Срок действия разрешения составляет 5 лет либо устанавливается по сроку эксплуатации (ресурса) единичного оборудования или партии. Образец разрешения представлен на рис. 1.

От заявителя (представителя организации или фирмы) требуется предоставить следующие документы:

- сведения об изготовителе (поставщике) оборудования;
- акт и протокол приемочных испытаний; сведения об устранении недостатков, выявленных в процессе приемочных испытаний;
- технические условия;
- руководство по эксплуатации;
- паспорт (формуляр, этикетка);
- заверенную копию сертификата соответствия на Ех-оборудование (сертификат взрывозащиты), выданного аккредитованной испытательной лабораторией (центром) по сертификации Ех-оборудования.

Техническая документация на оборудование должна содержать следующие сведения: наименование оборудования, его назначение; комплектация; описание конструкции и принципа работы; технические характеристики; условия и требования безопасной эксплуатации; методика проведения контрольных испыта-



Рис. 1. Образец разрешения на применение Ех-оборудования

ний (проверок) оборудования и его основных узлов; ресурс и срок эксплуатации; порядок технического обслуживания, ремонта и диагностирования (см. гл. II, п. 28.4 [1] и п. 10 [2]¹). Вся указанная документация должна быть представлена на русском языке либо иметь заверенный перевод с иностранного языка на русский.

Сертификация Ех-оборудования согласно постановлению Правительства РФ от 01. 12. 2009 г. № 982 [3] является обязательной независимо от наличия на конкретное оборудование сертификата международного образца. Процедура сертификации осуществляется в соответствии с требованиями ПБ 03-538-03 [4]. Для сертификации зарубежного Ех-оборудования организация-изготовитель (поставщик) должна представить в сертификационный центр:

- копию международного или национального сертификата;
- протокол испытаний и в случае необходимости протоколы испытаний, подтверждающие различия требований и методов испытаний Ех-оборудования в национальных стандартах стран.

¹ Документ [2] утрачивает силу с 1 января 2014 г. согласно постановлению Правительства РФ от 21 июня 2013 г. № 526.



Рис. 2. Образец сертификата соответствия Ex-оборудования

- документы, подтверждающие соответствие требованиям, определенным сертификационным центром;
- результаты работ по оценке производства;
- техническую документацию;
- образец (образцы) Ex-оборудования или его частей (по запросу сертификационного центра).

Срок действия сертификата на серийно выпускаемое Ex-оборудование составляет 3 года или устанавливается с учетом срока действия нормативных документов на Ex-оборудование. Образец сертификата представлен на рис. 2.

При несоответствии Ex-оборудования иностранным требованиям производства отдельным требованиям промышленной безопасности, действующим в РФ, организация-

изготовитель (поставщик) должна представить в центральный аппарат Ростехнадзора рекомендации по проведению дополнительных мероприятий (в том числе корректировка технической документации и расчетов, установка предохранительных и защитных устройств, проведение дополнительных испытаний и т. п.), которые позволят обеспечить безопасность в процессе эксплуатации такого оборудования (см. гл. II, п. 31 [1] и п. 8 [2]).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Административный регламент Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по исполнению государственной функции по выдаче разрешений на применение конкретных видов (типов) технических устройств на опасных производственных объектах (ред. № 2 от 01.12.2011 г.): утв. приказом Ростехнадзора от 29.02.2008 г. № 112; зарег. в Минюсте РФ 19.03.2008 г., рег. № 11363; введ. 29.02.2008 г. // Безопасность в промышленности. — 2008. — № 7.
2. О применении технических устройств на опасных производственных объектах: постановление Правительства РФ от 25.12.98 г. № 1540 (с изм. от 01.02.2005 г.); введ. 25.12.98 г. // Собр. законодательства РФ. — 1999. — № 1.
3. Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии (ред. от 04.03.2013 г.): постановление Правительства РФ от 01.12.2009 г. № 982; введ. 15.02.2010 г. Официальный интернет-портал правовой информации // Собр. законодательства РФ. — 14.12.2009 г. — № 50, ст. 6096.
4. ПБ 03-538-03. Правила сертификации электрооборудования для взрывоопасных сред: постановление Госгортехнадзора России и Госстандарта России от 19.03.2003 г. № 28/10; зарег. в Минюсте РФ 23.04.2003 г., рег. № 4440; введ. 19.03.2003 г. — М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2004.

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**



ISSE

INTEGRATED SAFETY & SECURITY EXHIBITION

КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

VII международный салон

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2014

Москва,
Всероссийский выставочный центр,
павильоны № 75 и № 69

20 - 23 мая

Тематические разделы



Пожарная
безопасность



Техника
охраны



Безопасность
границы



Медицина
катастроф



Защита
и оборона



Средства
спасения



Экологическая
безопасность



Промышленная
безопасность



Информационные
технологии



Комплексная безопасность
на транспорте



Ядерная
и радиационная безопасность

WWW.ISSE-RUSSIA.RU

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; проблемные обзоры и краткие сообщения; комментарии к нормативно-техническим документам; справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность. В начале работы (например, во введении) целесообразно кратко изложить состояние проблемы и место в ней данной задачи. В конце публикации должны быть сделаны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по электронному адресу (info@fire-smi.ru), а также в бумажном виде по почте (121352, Российская Федерация, г. Москва, а/я 43). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана авторами.

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

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

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью, на русском языке и в транслитерации). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

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

2.4. Аннотация на русском языке (не менее 4–5 предложений).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);

- содержательным (должны излагаться существенные результаты работы; не должен включаться материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “*The study tested*”, но не “*It was tested in this study*”);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

Приветствуется структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи; метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для References можно предложить следующий формат:

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

Примеры описаний в References

Статьи из журнала:

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

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

Статьи из электронного журнала:

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

Статьи с DOI:

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

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

Статьи из периодического издания (сборника трудов):

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

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalina I. Z., Mukhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Svishnikov A. V. Osobennosti proyektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniye gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novyye resursosberegayushchiye tekhnologii nedropolzovaniya i povysheniya neftegazootdachi”* [Proc. 6th Int. Symp. “New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact”]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Posledneye pravitelstvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 472 p.).

Интернет-ресурс:

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources] Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (Accessed 7 February 2011).

Диссертации или авторефераты диссертаций:

Semenov V. I. *Matematicheskoye modelirovaniye plazmy v sisteme kompaktnyy tor*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

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

Описание патента:

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

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

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

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

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

6. К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

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

8. Плата за публикацию работ с аспирантов не взимается.

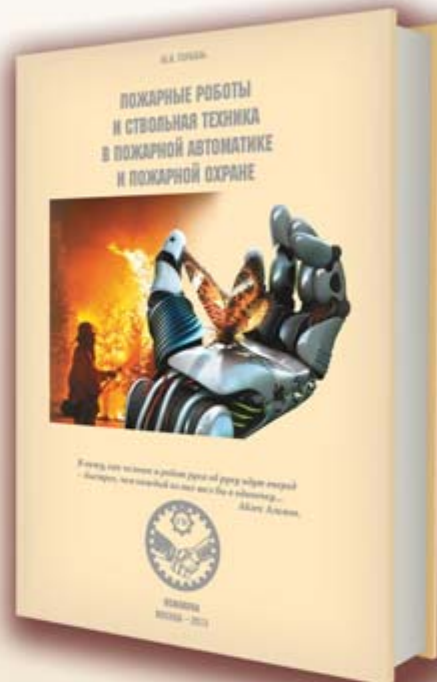
Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

Ю. И. ГОРБАНЬ

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

М.: Пожнаука, 2013. - 352 с.

- ♦ Для специалистов в области пожарной автоматики и пожарной охраны.
- ♦ В книге представлены новые технологии пожаротушения с применением пожарных роботов, выполненных на базе современной ствольной пожарной техники. Показано, как создавались пожарные роботы в России, как совершенствовалась их конструкция, как они применялись в техногенных катастрофах и как они защищают объекты различного назначения.
- ♦ Рассмотрены основные понятия по гидравлике в пожарном деле и баллистике струй, а также по огнеопасным материалам и огнетушащим веществам, применяемым в ствольной технике.
- ♦ Дана подробная информация по применению роботизированных установок пожаротушения и пожарных стволов для защиты пожароопасных объектов, включая сведения, необходимые для проектировщиков и конструкторов.



СОДЕРЖАНИЕ:

- Часть 1. От первого пожарного робота до Завода пожарных роботов
- Часть 2. Гидравлика в пожарном деле
- Часть 3. Баллистика струй
- Часть 4. «Jet Fog» - летающие и распыленные огнетушащие вещества
- Часть 5. Пожароопасность и пожаробезопасность в расчетах пожарной автоматики
- Часть 6. Ручные пожарные стволы
- Часть 7. Пожарные лафетные стволы
- Часть 8. Пожарная робототехника
- Часть 9. Защита объектов лафетными стволами
- Часть 10. Защита объектов с применением роботизированных пожарных комплексов

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ КНИГИ ОБРАЩАЙТЕСЬ:

ЗАО „Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР”

185031, г. Петрозаводск, ул.Заводская, д. 4

Тел./факс: (8142) 57-11-27, 77-49-23

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

Представительство ЗАО „Инженерный центр „ЭФЭР” в г. Москве:

143956, Московская обл., г. Балашиха, мкр. Никольско-Архангельский,

Разинское ш., д. 5, бизнес-центр “Вешняки”, офис 204

Т./ф.: +7(498) 665-75-35, моб.т. +7(916) 652-70-78

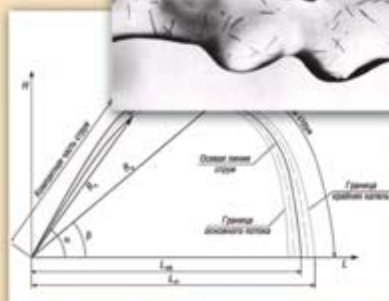
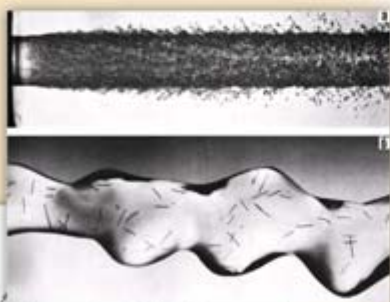
ООО „Издательство „Пожнаука”

Тел: (495) 228-09-03

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



РЕКЛАМА



- 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 АСЕЕВА Р. М., СЕРКОВ Б. Б., СИВЕНКОВ А. Б. **Горение древесины и ее пожароопасные свойства**: монография. — 2011. — 262 с. — ISBN 978-5-9229-0045-4. Цена 350 руб.
- 5 БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Моделирование пожаров и взрывов**. — 2000. — 492 с. Цена 540 руб.
- 6 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.
- 7 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Процессы горения и взрыва**: учебник. — 2007. — 266 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-001-2. Цена 450 руб.
- 8 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.
- 9 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие. — 2011. — 320 с. — ISBN 978-591444-021-X. Цена 350 руб.
- 10 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие [Электронная версия]. — 2011. Цена 300 руб.
- 11 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.
- 12 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огне- и биозащиты**. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с. БЕСПЛАТНО.
- 13 КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ГРОМОВОЙ В. Ю. **Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение**. — 2010. — 94 с. — ISBN 978-5-91444-014-02. Цена 140 руб.
- 14 ПИЛЮГИН Л. П. **Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций**. — 2000. — 224 с.: ил. — ISBN 5-901283-03-1. Цена 240 руб.
- 15 ПИЛЮГИН Л. П. **Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов**. — 2010. — 380 с. — ISBN 978-5-91444-016-6. Цена 450 руб.
- 16 СМЕЛКОВ Г. И., ЧЕРКАСОВ В. Н., ВЕРЕВКИН В. Н., ПЕХОТИКОВ В. А., РЯБИКОВ А. И. **Электроустановки во взрывопожароопасных зонах**: справочное пособие. — 2012. — 222 с. — ISBN 978-5-91444-022-X. Цена 300 руб.
- 17 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”



Sfiteх

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

ufi
Approved
Event

11-14
НОЯБРЯ | 2014

Место проведения:

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ



РЕКЛАМА

23-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА **ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ**

- ⊗ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
- ⊗ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
- ⊗ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ
- ⊗ **NEW!** ГАДЖЕТЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

IS.CS

5-я Специализированная выставка
«Информация: техника и технологии защиты»

Организаторы:



primexpo



ITE GROUP PLC

+7 (812) 380 6009/00, security@primexpo.ru

www.sfiteх.ru