

9-2013

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСН  **СТЬ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

РАСПРОСТРАНЕНИЕ
ПОЖАРОВ
ПО ПУСТОТАМ
В ЗДАНИЯХ





СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

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

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

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

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

http: www.artsok.com

Система менеджмента качества сертифицирована как соответствующая требованиям 9001–2008



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



Модули МГП-16 емкостью от 2 до 100 л
на рабочее давление до 19,6 МПа (200 кгс/см²),
МГП-35 емкостью от 60 до 100 л
на рабочее давление до 14,7 МПа (150 кгс/см²),
МГП-50 емкостью от 60 до 100 л
на рабочее давление до 6,37 МПа (65 кгс/см²)
и батареи на их основе



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



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



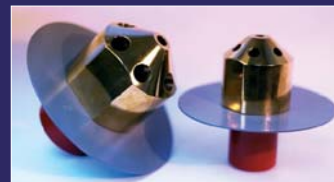
Модули изотермические для жидкой двуокиси
углерода (МИЖУ) емкостью от 3 до 28 м³
(стационарные и передвижные)



Распределительные устройства
(РУ) для комплектации АУГП
централизованного типа



Насадки для распыления
газовых огнетушащих веществ
(струйные и локальные)



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

КИРИЧЕНКО О. В.
Тепловые воздействия на поверхность
металлических обтекателей пиротехнических изделий
в условиях выстрела и полета

6

KIRICHENKO O. V.
Thermal influences on the surface
of the metallic fairings about the pyrotechnic articles
under the conditions for shot and flight

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ Веществ и материалов

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

ДАШКО Л. В., КЛЮЧНИКОВ В. Ю., ПЛОТНИКОВА Г. В.
Использование методов синхронного термического
анализа для исследования углей при производстве
пожарно-технических экспертиз

13

DASHKO L. V., KLYUCHNIKOV V. Yu., PLOTNIKOVA G. V.
Use of methods of simultaneous thermal analysis
for research of coal in production
of fire-technical examination

АЛЕКСЕЕВ С. Г., АВДЕЕВ А. С.,
ПИЩАЛЬНИКОВ А. В., БАРБИН Н. М.
Выбор наиболее опасной ЛВЖ
при категорировании помещений

19

ALEXEEV S. G., AVDEEV A. S.,
PISHCHALNIKOV A. V., BARBIN N. M.
Selection of the most dangerous flammable liquid
at categorization of compartments

ОГНЕЗАЩИТА

FIRE RETARDANCE

ЖАРТОВСКИЙ С. В.
Системный подход к созданию противопожарной защиты
объекта с использованием водных огнезащитных
и огнетушащих веществ

25

ZHARTOVSKIY S. V.
A systematic approach to fire protection
of objects using water fire retardant
and fire extinguishing means

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

ГОЛИКОВ А. Д., ЧЕРКАСОВ Е. Ю.
Распространение пожаров по пустотам в зданиях
(литературный обзор материалов реферативного журнала
серии "Пожарная безопасность" с 1982 по 2012 гг.)

37

GOLIKOV A. D., CHERKASOV Eu. Yu.
Propagation of fires in buildings voids
(literary review based on abstract journal
series "Fire Safety" from 1982 to 2012)

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

МУРЗИНОВ В. Л.
Моделирование временных характеристик устройства
спасения падающих с высоты людей

44

MURZINOV V. L.
Modelling of time characteristics of the device of rescue
of people falling from height

ПОЖАРНАЯ ОХРАНА

FIRE SECURITY

БАРАНОВСКИЙ Н. В.
Рабочая программа дисциплины "Приборы и системы
для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной
опасности" по направлению обучения магистров
"Пожарная безопасность"

49

BARANOVSKIY N. V.
Working program of discipline "Devices and systems
for monitoring and forecasting of forest fire danger"
in a direction of masters training
"Fire safety"

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

КУЗНЕЦОВ Г. В., СТРИЖАК П. А.
Оценка эффективности использования теплоты испарения
воды при тушении лесных пожаров

57

KUZNETSOV G. V., STRIZHAK P. A.
Evaluation of efficiency using water evaporation heat
at the forest fire quenching

ВИНОГРАДОВ А. Г.
Учет спектрального состава теплового излучения
при расчете коэффициента пропускания капли воды

64

VINOGRADOV A. G.
Accounting of thermal radiation spectral distribution at
calculation of water droplet transmittance

БУЛВА А. Д.
Применение водяных завес для ограничения
распространения опасных примесей в атмосфере

74

BULVA A. D.
Application of water curtain for restriction of hazardous
pollutants in the atmosphere

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 ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory". Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" только по согласованию с редакцией. При цитировании ссылка обязательна. Авторы и рекламодатели несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов опубликованных материалов.



Анализ углей при пожарно-технической экспертизе

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 26.08.2013.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

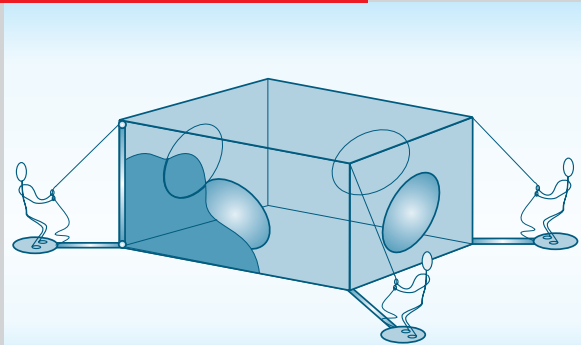
Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.



Стр. 13

Стр. 37

Распространение пожаров по пустотам в зданиях



Устройства спасения падающих с высоты людей

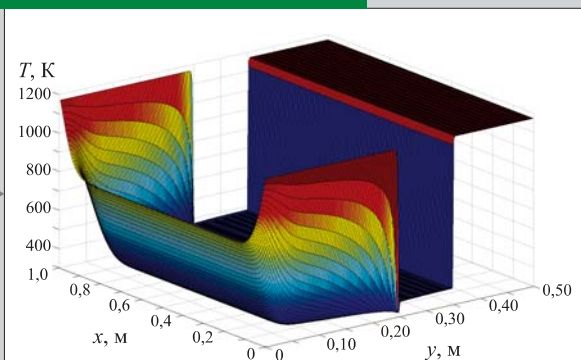


Стр. 44

Стр. 49

Мониторинг лесной пожарной опасности

Стр. 57



Использование теплоты испарения воды при тушении



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 26.08.2013
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)



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

О. В. КИРИЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной профилактики Академии пожарной безопасности им. Героев Чернобыля (Украина, 18034, г. Черкассы, ул. Оноприенко, 8; e-mail: okskir@meta.ua)

УДК 614.841:536.46

ТЕПЛОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСТРЕЛА И ПОЛЕТА

Рассматриваются пиротехнические изделия специального назначения (осветительные и трассирующие средства, пиротехнические ИК-излучатели, трассирующие составы, элементы ракетно-космической техники и др.) на основе уплотненных смесей из металлических горючих порошков (магния, алюминия, титана, циркония и др.), нитратсодержащих окислителей (нитратов натрия, калия, стронция, бария, свинца и др.) и добавок органических веществ (парафина, стеарина, нафталина, антрацена, уротропина, идитола, каучука СКН-10-1, смолы 214 и др.), которые в условиях выстрела и полета подвергаются интенсивным внешним тепловым воздействиям при сверхзвуковом обдуве их потоком воздуха. Представлены результаты экспериментально-теоретических исследований процесса нагрева поверхностей металлических обтекателей пиротехнических изделий под воздействием внешнего сверхзвукового потока воздуха. Получены аналитические выражения для распределений теплового потока из пограничного слоя вдоль поверхности обтекателя и установлено, что он имеет максимум, местоположение которого относительно поверхности обтекателя при ламинарном режиме находится в окрестности передней критической точки, а при турбулентном режиме смещается вдоль поверхности обтекателя.

Ключевые слова: пиротехнические изделия; полусферическое тело; сверхзвуковой поток воздуха.

Введение

Все пиротехнические изделия (осветительные и трассирующие средства, пиротехнические ИК-излучатели, зажигательные смеси, элементы ракетно-космической техники и др.) на основе уплотненных смесей из металлических горючих порошков (магния, алюминия, циркония, титана и др.), нитратсодержащих окислителей (нитратов натрия, калия, стронция, бария, свинца и др.) и добавок органических веществ (парафина, стеарина, нафталина, антрацена, уротропина, идитола, каучука СКН-10-1, смолы 214 и др.) при их запусках с неподвижных или летящих

объектов, т. е. в условиях выстрела и полета, подвергаются интенсивным внешним тепловым воздействиям при сверхзвуковом обдуве их потоком воздуха (рис. 1) [1–6]. При этом температура T_w на поверхности металлических обтекателей изделий может достигать больших значений (табл. 1). В результате происходит существенный нагрев зарядов, реакционноспособных к повышенным температурам смесей, что обуславливает их преждевременные локальные возгорания и дальнейшее ускорение процесса горения смесей под металлическими обтекателями в условиях возрастающих температур и внешних

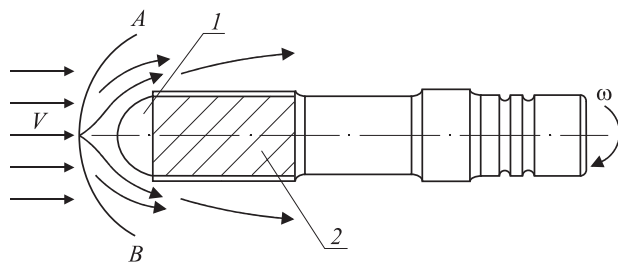


Рис. 1. Схематическое изображение сверхзвукового обдува потоком воздуха пиротехнических изделий в условиях выстрела и полета при скорости встречного потока $V = 7 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^3$ м/с, угловой скорости осесимметричного вращения изделия $\omega = 5 \cdot 10^2 \dots 10^3$ рад/с: 1 — металлический обтекатель; 2 — заряд пиротехнической смеси; AB — фронт ударной волны

Таблица 1. Значения температуры плоских поверхностей изделий в зависимости от скорости обдува их потоком воздуха V и режима обтекания (по данным продувок тел различной геометрической формы в аэродинамических трубах [7, 8])

$V, 10^{-2}$ м/с	T_w , К, при режиме обтекания	
	ламинарном	турбулентном
5	540	620
6,5	730	840
10	820	950
14	1040	1170
17	1320	1480
20	1650	1850

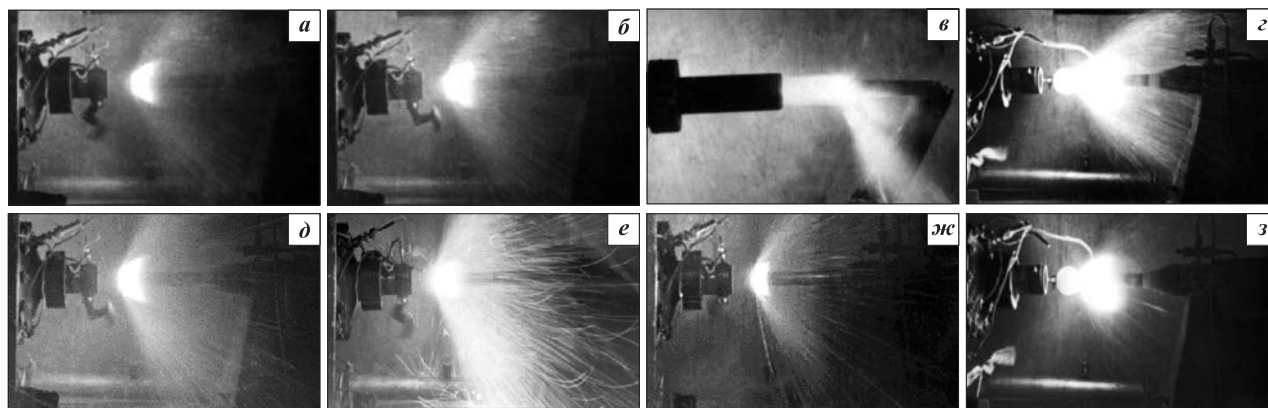


Рис. 2. Кинокадры съемки кинокамерой “Конвас-автомат” (скорость 30 кадров в секунду [4, 10]) общей картины преждевременного срабатывания зарядов смесей $Zr + NaNO_3$ (а, д), $Al + NaNO_3$ (в, г, з), $Mg + NaNO_3$ (б, е, ж) и разрушения пиротехнических изделий, полученных на установке [5, 8], моделирующей их поведение в условиях выстрела и полета ($\omega = 5 \cdot 10^2 \dots 10^3$ рад/с): а — $V = 8 \cdot 10^2$ м/с; б — $V = 1,2 \cdot 10^3$ м/с; в — $V = 1,5 \cdot 10^3$ м/с; г — $V = 2 \cdot 10^3$ м/с; д — $V = 9 \cdot 10^2$ м/с; е — $V = 1,1 \cdot 10^3$ м/с; ж — $V = 1,4 \cdot 10^3$ м/с; з — $V = 1,8 \cdot 10^3$ м/с

давлений. Это приводит к взрывоопасным разрушениям смесей с образованием различных факторов пожара (пламя или высокотемпературный поток продуктов сгорания, разогретые части зарядов смесей, искры и др.) (рис. 2). Поэтому на стадии проектирования и разработки указанных изделий необходимо уметь рассчитывать распределения тепловых воздействий сверхзвукового потока вдоль поверхностей металлических обтекателей и определять местоположение точек их наиболее интенсивного нагрева, в которых могут происходить пожаровзрывоопасные разрушения изделий.

В настоящее время указанная задача не решена. Поэтому целью данной работы является моделирование теплового воздействия сверхзвукового потока воздуха на поверхность металлических обтекателей пиротехнических изделий и прогнозирование местоположения участков на них, в которых изделия могут подвергаться разрушениям, являющимся пожароопасными для окружающих объектов.

Постановка задачи

Рассмотрим методы, принятые в аэрогазодинамике [7, 8], для моделирования сверхзвукового обдува потоком воздуха полусферических металлических обтекателей пиротехнических изделий и расчета распределений теплового потока из пограничного слоя вдоль их поверхностей для различных режимов обтекания (ламинарный, турбулентный).

Моделирование теплового воздействия сверхзвукового потока воздуха на поверхность металлического обтекателя

Испытания, проведенные на оборудовании, моделирующем аэродинамический нагрев различных малогабаритных изделий [4, 5], показывают, что в качестве одного из критериев, оценивающего аэроди-

намический нагрев и прогнозирующего зоны наиболее сильного теплового воздействия на поверхность обтекателя, можно рассматривать распределение теплового потока на его поверхности при нулевых углах атаки и скольжения, т. е. при продольном лобовом обтекании потоком воздуха с заданными скоростями и режимами обтекания. При этом режим обтекания зависит от критерия Рейнольдса Re ($Re = Vd/\nu$, где d — диаметр изделия, м; ν — коэффициент кинематической вязкости воздуха, m^2/c): $Re < 10^5$ — ламинарный режим обтекания, $Re > 10^5$ — турбулентный [7, 8].

Далее решается внешняя газодинамическая задача обтекания на основе экспериментальных данных по продувкам осесимметричных тел в аэродинамических трубах и находится тепловой поток q_w из пограничного слоя, который зависит от скорости воздушного потока и режима обтекания (ламинарный, турбулентный) и меняется, проходя вдоль обтекаемой поверхности (рис. 3).

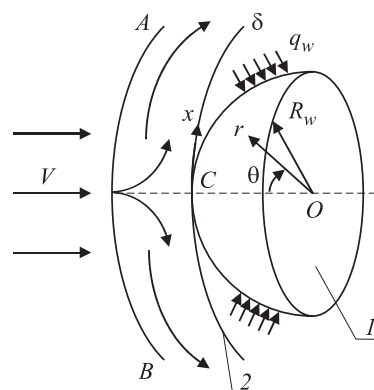


Рис. 3. Схема нагрева полусферического обтекателя: 1 — металлический обтекатель; 2 — внешняя граница пограничного слоя толщиной δ ; C — передняя критическая точка ($V = 0$); AB — фронт ударной волны; r, θ — сферические координаты; R_w — радиус обтекателя

Тепловой поток из пограничного слоя на поверхность обтекателя

Газодинамическую задачу будем рассматривать как квазистационарную, что справедливо для большинства практических случаев, за исключением импульсных режимов [7, 8]. Это обусловлено тем, что объемная теплоемкость газового потока C_{Vr} мала по сравнению с объемной теплоемкостью материала обтекателя C_{Vn} , т. е. $C_{Vr}/C_{Vn} < 1$. Предполагая также, что газовый поток несжимаем (справедливо для $V < (2...3) \cdot 10^3$ м/с [7]), для теплового потока q_w из пограничного слоя (при нулевых углах атаки и скольжения) имеем следующее выражение [8]:

$$q_w = \frac{f(\text{Pr})}{\left(\frac{\rho_\delta u_\delta x}{\mu_\delta}\right)^{1/5}} \rho_\delta u_\delta C_p (T_r - T_w), \quad (1)$$

где $f(\text{Pr})$ — заданная функция числа Прандтля Pr , зависящая от геометрической формы тела и режима обтекания; $\text{Pr} = C_p \mu / \lambda_\Gamma$;

ρ , u , μ , C_p , λ_Γ — соответственно плотность, скорость вдоль координаты x , коэффициент динамической вязкости, теплоемкость и коэффициент теплопроводности газового потока;

T_r — температура восстановления в пограничном слое, представляющая собой температуру воздуха в непосредственной близости от поверхности тела;

δ — индекс, характеризующий условия на внешней границе пограничного слоя.

Температура восстановления в пограничном слое определяется по следующей эмпирической формуле [7, 8]:

$$T_r = T_\delta (1 + 0,2 \bar{r} M^2), \quad (2)$$

где $\bar{r}$ — коэффициент восстановления, характеризующий долю кинетической энергии внешнего потока воздуха при полном торможении потока; для ламинарного режима обтекания $\bar{r} = 0,85$, для турбулентного — $\bar{r} = 0,88...0,90$;

M — число Маха.

Далее предполагается, что для зон, близких к критической точке, остается справедливым равенство $u_\delta = \beta x$ (где β — функция скорости V невозмущенного потока перед ударной волной). Для ламинарного режима указанное соотношение получено путем измерения давления и расчета скоростей. Подстановка равенства $u_\delta = \beta x$ в (2) дает выражение

$$q_w = f(\text{Pr}) \beta^{4/5} \mu_\delta x^{3/5} C_p (T_r - T_w). \quad (3)$$

Подставляя в (3) известные газодинамические соотношения [7, 8], получаем следующее выражение для теплового потока при турбулентном режиме обтекания:

$$q_w = \frac{0,00042}{\text{Pr}^{2/3}} \left(\frac{\beta R_w}{V}\right)^{4/5} \left(\frac{v}{VR_w}\right)^{1/5} \left(\frac{\rho_\delta}{\rho}\right)^{4/5} \left(\frac{\mu_\delta}{\mu}\right)^{1/5} \times \\ \times \rho V C_p (T_r - T_w) (\sin \theta)^{3/5}. \quad (4)$$

Аналогично для ламинарного режима обтекания полусферы выражение для теплового потока можно представить в виде

$$q_w = \frac{0,0083}{\text{Pr}^{2/3}} \left(\frac{\beta R_w}{V}\right)^{1/2} \left(\frac{v}{VR_w}\right)^{1/2} \left(\frac{\rho_\delta}{\rho}\right)^{1/2} \left(\frac{\mu_\delta}{\mu}\right)^{1/2} \times \\ \times \rho V C_p (T_r - T_w). \quad (5)$$

В формулах (4) и (5) β имеет вид [7, 8]:

$$\beta = \frac{V}{2R_w} \left(\frac{8(\gamma - 1)M^2 + 2}{(\gamma + 1)M^2} \times \right. \\ \left. \times \left[1 + \frac{\gamma - 1}{2} \frac{(\gamma - 1)M^2 + 2}{2\gamma M^2 - (\gamma - 1)} \right]^{-\frac{1}{\gamma - 1}} \right)^{1/2}, \quad (6)$$

где $M = V/V_*$;

V_* — скорость звука, м/с;

$\gamma = C_p/C_v$; для воздуха $\gamma = 1,4$.

Соотношения ρ_δ/ρ и μ_δ/μ определяются расчетом давления по методу Ньютона и адиабатического расширения от критической точки вдоль поверхности обтекателя (в направлении x) [8]:

$$\frac{\rho_\delta}{\rho} = 6,35 \left(1 - \frac{1}{7M^2}\right)^{-2,5} \left(1 + \frac{5}{M^2}\right)^{-1} \bar{P}^{-5/2}; \quad (7)$$

$$\frac{\mu_\delta}{\mu} = 0,447M \left(1 + \frac{5}{M^2}\right)^{-1/2} \frac{1 + S/T_\infty}{1 + S/T_r} \bar{P}^{-3/14}, \quad (8)$$

где S — постоянная Сатерленда; $S = 110,4$ К;

$\bar{P}$ — отношение давления на внешней границе пограничного слоя P_δ к давлению торможения P_T ;

T_r — температура торможения.

В работе [7] на основе сравнения экспериментальных данных получена достаточно точная (относительная погрешность 3...5 %) формула для определения распределения давления в направлении θ :

$$\bar{P} = 1 - (1,525 - 1,85k_0)(\sin \theta)^2 + \\ + (0,487 - 1,323k_0)(\sin \theta)^4, \quad (9)$$

где k_0 — уплотнение воздуха за прямым скачком:

$$k_0 = \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1} + \frac{2}{(\gamma + 1)M^2}. \quad (10)$$

Давление в точке торможения P_T определяется по формуле [7, 8]:

$$P_T = P M^2 \frac{\gamma - 1}{2} \left[\frac{(\gamma - 1)M^2}{4\gamma M^2 - 2(\gamma - 1)} \right]^{\frac{1}{\gamma - 1}}. \quad (11)$$

Выражение для температуры торможения имеет вид [7, 8]:

$$T_T = T \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right). \quad (12)$$

При расчетах число Pr_δ для воздуха можно считать постоянным, равным 0,71, поскольку оно мало зависит от температуры. Удельную теплоемкость воздуха C_p для случая течения идеального газа также можно считать постоянной величиной, равной 10^3 Дж/(кг·К).

Результаты расчетов распределений теплового потока из пограничного слоя вдоль поверхности обтекателя и их анализ

По формулам (4) и (5) с использованием специализированного программного обеспечения MathCAD v. 11 [9, 10] были проведены расчеты распределений теплового потока из пограничного слоя q_w вдоль поверхности обтекателя для различных скоростей воздушного потока V и режимов обтекания (ламинарный, турбулентный) (рис. 4–7). Из результатов расчетов следует, что местоположение точек с макси-

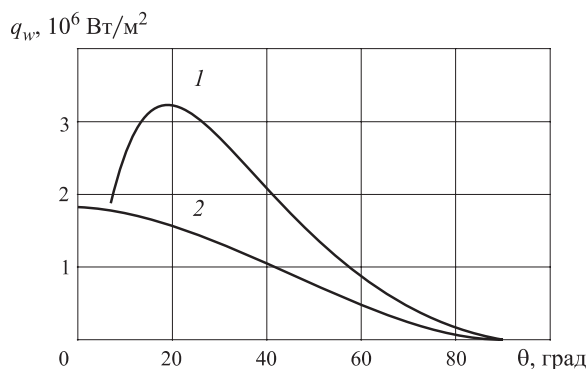


Рис. 4. Распределение теплового потока q_w вдоль поверхности обтекателя при его сверхзвуковом обдуве потоком воздуха ($T_0 = 300$ К; $R_w = 10^{-2}$ м; $V = 2 \cdot 10^3$ м/с): 1 — турбулентный режим обтекания; 2 — ламинарный режим обтекания

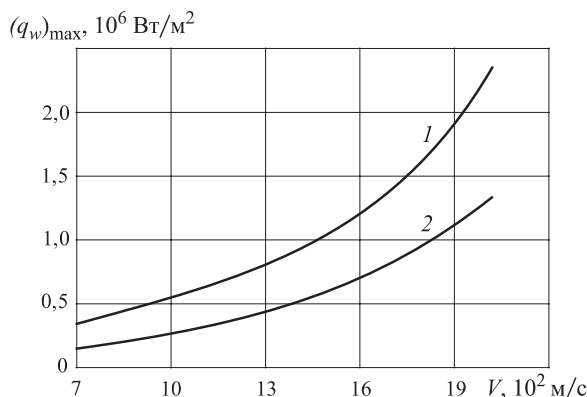


Рис. 5. Зависимость максимальных значений теплового потока $(q_w)_{\max}$ от скорости сверхзвукового обдува обтекателя потоком воздуха ($T_0 = 300$ К; $R_w = 10^{-2}$ м): 1 — турбулентный режим обтекания; 2 — ламинарный режим обтекания

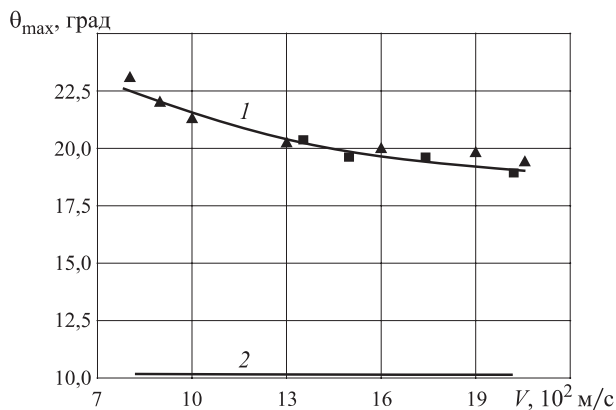


Рис. 6. Зависимость $\theta_{\max}(V)$ для разных сверхзвуковых режимов обтекания ($T_0 = 300$ К; $R_w = 10^{-2}$ м; турбулентный режим обтекания): $\blacktriangle$, $\blacksquare$ — результаты соответственно лабораторных и натурных испытаний [5, 9]

мальной интенсивностью теплового потока $(q_w)_{\max}$ на поверхности обтекателя существенно зависит от режима обтекания: при ламинарном режиме обтекания значения $(q_w)_{\max}$ находятся вблизи передней критической точки обтекателя ($\theta = 0^\circ$); при турбулентном режиме они смещаются от $\theta = 0^\circ$ до $\theta_{\max}$. При этом с увеличением скорости обдува потоком воздуха V от $7 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^3$ м/с значения $(q_w)_{\max}$ возрастают с $0,3 \cdot 10^6$ до $2,3 \cdot 10^6$ Вт/м² (турбулентный режим) и с $0,2 \cdot 10^6$ до $1,3 \cdot 10^6$ Вт/м² (ламинарный режим). Что касается значений $\theta_{\max}$, то при ламинарном режиме обтекания $\theta_{\max} = 0^\circ$ независимо от величины параметра V . При турбулентном режиме обтекания для исследованного диапазона изменения скорости ($V = 7 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^3$ м/с) значения $\theta_{\max}$ лежат в пределах $18 \dots 22^\circ$, т. е. практически не изменяются, что полностью соответствует полученным экспериментальным данным.

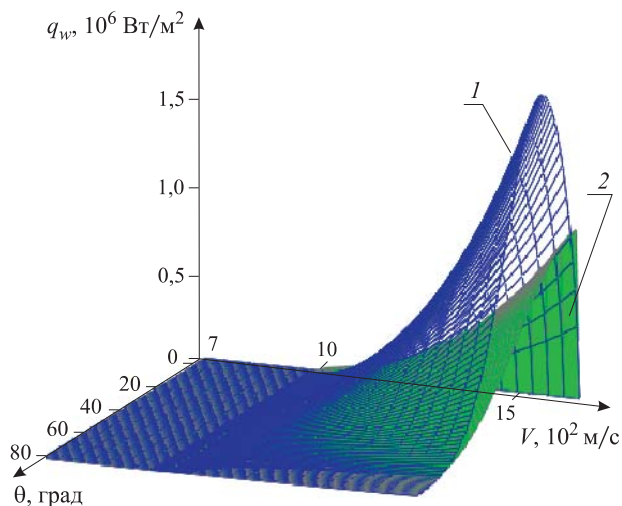


Рис. 7. Трехмерное распределение теплового потока $q_w(\theta, V)$ на поверхности полусферы, обтекаемой сверхзвуковым потоком воздуха ($T_0 = 300$ К; $R_w = 10^{-2}$ м): 1 — турбулентный режим обтекания; 2 — ламинарный режим обтекания

Заключение

На базе проведенных теоретико-экспериментальных исследований внешних тепловых воздействий сверхзвукового потока воздуха на металлические обтекатели пиротехнических изделий в условиях выстрела и полета получены аналитические выражения для расчета распределений теплового потока из пограничного слоя вдоль их поверхностей. Анализ результатов расчетов и сопоставления их с данными лабораторных и натурных испытаний показал, что тепловой поток имеет максимум, местоположение которого относительно поверхности обтекателя полностью определяется режимом обтекания: при ламинарном режиме он находится в окрестности передней критической точки ($\theta = 0^\circ$), а при турбулентном режиме — смещается от передней критической точки до $\theta_{\max} = 18 \dots 22^\circ$ для исследованного

диапазона изменения скоростей воздушного потока $V = 7 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^3$ м/с.

В дальнейших исследованиях планируется рассмотреть вопросы теоретического анализа и моделирования температурных полей в металлических обтекателях пиротехнических изделий в условиях сверхзвукового обдува потоком воздуха с целью прогнозирования допустимых диапазонов изменения параметров внешних тепловых воздействий (скоростей обдува потоком воздуха, режима обтекания, времени теплового воздействия и др.) и характеристик исходных пиротехнических смесей (соотношения компонентов, их дисперсности), не приводящих к их воспламенению и ускорению горения под обтекателем, что вызывает, в конечном счете, пожароопасные разрушения изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазарев Л. П. Инфракрасные приборы самонаведения летательных аппаратов. — М. : Машиностроение, 1970. — 231 с.
2. Шидловский А. А. Основы пиротехники. — М. : Машиностроение, 1973. — 320 с.
3. Шидловский А. А., Сидоров А. И., Силин Н. А. Пиротехника в народном хозяйстве. — М. : Машиностроение, 1978. — 231 с.
4. Силин Н. А., Ващенко В. А., Кашипов Л. Я. Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем. — М. : Машиностроение, 1982. — 232 с.
5. Ващенко В. А., Кириченко О. В., Лега Ю. Г., Заика П. И., Яценко И. В., Цыбулин В. В. Процессы горения металлизированных конденсированных систем. — К. : Наукова думка, 2008. — 745 с.
6. Кириченко О. В. Повышение эффективности пиротехнических нитратосодержащих изделий в условиях их применения // Вісник Черкаського державного технологічного університету. — 2009. — № 2. — С. 89–94.
7. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. — М. : Наука, 1969. — 824 с.
8. Лойцянский Л. С. Механика жидкости и газа. — М. : Наука, 1987. — 840 с.
9. Очков В. Е. MathCAD для студентов, инженеров и конструкторов. — СПб. : БХВ-Петербург, 2007. — 375 с.
10. Кудрявцев Е. М. MathCAD 11. Полное руководство по русской версии. — М. : ДМК Пресс, 2007. — 592 с.

Материал поступил в редакцию 5 июня 2013 г.

English

THERMAL INFLUENCES ON THE SURFACE OF THE METALLIC FAIRINGS ABOUT THE PYROTECHNIC ARTICLES UNDER THE CONDITIONS FOR SHOT AND FLIGHT

KIRICHENKO O. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Fire Preventive Maintenance Department, Fire Safety Academy named after Chernobyl Heroes of Ministry of Emergencies of Ukraine (Onoprienko St., 8, Cherkassy, 18034, Ukraine; e-mail address: okskir@meta.ua)

ABSTRACT

The pyrotechnic articles of the special designation (illuminating and tracer means, pyrotechnic IR-emitters, tracer compositions, the elements of rocket-space technology and others) on the basis of

the condensed mixtures from the powders of the metallic fuels (magnesium, aluminum, titanium, zirconium and other), nitrate-containing oxidizers (sodium nitrate, potassium, strontium, barium, lead and other) and additions of organic matter (paraffin, stearin, naphthalene, anthracene, urotropin, iditol, kauchuk SKN-10-1, resin 214 and other), which under the conditions for shot and flight undergo intensive external thermal influences with the supersonic blowout by airflow are examined. Under the action of external heat fluxes the essential heating of the metal housings of articles occurs, early ignition and the development of the combustion of the charges of pyrotechnic mixtures under the conditions of increasing temperatures of heating and external pressures, which leads to the inflammable-explosive destruction of articles.

The results of experimental and theoretical studies of the process of heating the surfaces of the metallic fairings of the pyrotechnic articles by external supersonic airflow are represented. Analytical expressions for the heat-flow distributions from the boundary layer along the surface of fairing are obtained and established that it has a maximum, whose location along the surface of fairing for the stream-line conditions of flow is located in the environment of front critical point, and for the turbulent regime of flow this maximum already displaces along the surface of fairing.

Keywords: pyrotechnic articles; hemispherical solid; supersonic airflow.

REFERENCES

1. Lazarev L. P. *Infrakrasnyye pribory samonavedeniya letatelnykh apparatov* [Infrared instruments of homing the flight vehicles]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1970. 231 p.
2. Shidlovskiy A. A. *Osnovy pirotekhniki* [Bases of pyrotechnics]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1973. 320 p.
3. Shidlovskiy A. A., Sidorov A. I., Silin N. A. *Pirotekhnika v narodnom khozyaystve* [Pyrotechnics in the national economy]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1978. 231 p.
4. Silin N. A., Vaschenko V. A., Kashporov L. Ya. *Goreniye metallizirovannykh geterogennykh kondensirovannykh sistem* [Combustion of the metalized heterogeneous condensed systems]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1982. 232 p.
5. Vaschenko V. A., Kiritchenko O. V., Lega Yu. G., Zaika P. I., Yatsenko I. V., Tsybulin V. V. *Protsessy goreniya metallizirovannykh kondensirovannykh sistem* [Processes of the combustion of the metalized condensed systems]. Kiev, Naukova dumka Publ., 2008. 745 p.
6. Kiritchenko O. V. Povysheniye effektivnosti pirotekhnicheskikh nitratosoderzhashchikh izdeliy v usloviyakh ikh primeneniya [Increase in the effectiveness of pyrotechnic nitrate-containing articles under the conditions for their application]. *Visnyk Cherkaskogo Derzhavnogo Tekhnologichnogo Universytetu — Bulletin of Cherkasy State Technological University*, 2009, no. 2, pp. 89–94.
7. Abramovich G. N. *Prikladnaya gazovaya dinamika* [Applied gas dynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 824 p.
8. Loytsyanskiy L. S. *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Mechanics of fluid and gas]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 840 p.
9. Ochkov V. E. *MathCAD dlya studentov, inzhenerov i konstruktorov* [MathCAD for the students, the engineers and the designers]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2007. 375 p.
10. Kudryavtsev E. M. *MathCAD 11. Polnoye rukovodstvo po russkoy versii* [MathCAD 11. Full guide to Russian version]. Moscow, DMK Press Publ., 2007. 592 p.

**8-10
ОКТАБРЯ**

г. Уфа, Республика Башкортостан

IV Межрегиональный

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ



XVIII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

УРАЛЭКОЛОГИЯ.

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2013

Организаторы:

- **Правительство Республики Башкортостан**
- **Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан**
- **Коммерческий инновационный центр «Лигас»**

При поддержке:

- **Министерства промышленности и инновационной политики Республики Башкортостан**
- **Торгово-промышленной палаты Российской Федерации**
- **Торгово-промышленной палаты Республики Башкортостан**

выставочный центр
ЛИГАС LIGAS

тел.: (347)253-72-23, 253-79-57

e-mail: ligas@ufanet.ru

www.ligas-ufa.ru

Л. В. ДАШКО, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории Экспертно-криминалистического центра МВД России (Россия, 125130, г. Москва, ул. Зои и Александра Космодемьянских, 5)

В. Ю. КЛЮЧНИКОВ, заместитель начальника отдела взрыво- и пожарно-технических экспертиз Управления технических экспертиз Экспертно-криминалистического центра МВД России (Россия, 125130, г. Москва, ул. Зои и Александра Космодемьянских, 5)

Г. В. ПЛОТНИКОВА, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры пожарно-технической экспертизы ФГКОУ ВПО "Восточно-Сибирский институт МВД России" (Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 110; e-mail: plotnikovagv@mail.ru)

УДК 614.841.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ СИНХРОННОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ

Представлены результаты исследования образцов древесины (береза и осина) и углей — древесного, каменного и антрацита — методом синхронного термического анализа с целью их дифференциации по температуре, потерям массы и теплоте сгорания. Показано, что полученные данные можно использовать для доказательства того, что причиной пожара явился перегрев печной установки.

Ключевые слова: пожар; пожарно-техническая экспертиза; печное отопление; нетеплоемкие печи; термические методы анализа; термогравиметрия; бурый уголь; древесный уголь; антрацит.

Россия является лидером среди развитых стран по количеству погибших на пожарах людей, в том числе по относительному количеству (число пожаров на душу населения). Потери людских жизней при пожарах во много раз выше, чем при стихийных бедствиях и действиях террористов, и по этому показателю пожары уступают лишь дорожно-транспортным происшествиям. Помимо этого, пожары приносят огромный материальный ущерб.

Расследование происшествий, связанных с пожарами, представляет значительные сложности в силу специфики самого явления пожара, несущего реальную опасность уничтожения следовой информации об обстоятельствах его возникновения и развития.

Анализ пожаров и их последствий показал, что большинство пожаров, в результате которых были травмированы люди, произошли в жилых помещениях, принадлежащих людям с асоциальным поведением (75 %). Основными причинами таких пожаров стали неосторожное обращение с огнем и нарушения правил пожарной безопасности при эксплуатации установок печного отопления. Из-за нарушений эксплуатации установок печного отопления в России происходит каждый восьмой пожар, что составляет 12 % от общего количества пожаров [1].

Печное отопление — вид отопления, при котором помещения обогреваются установленными в них отопительными печами. Благодаря простоте устройства и многообразию видов местного топлива печное отопление получило широкое распространение и применяется на протяжении многих веков в различных странах. В России печное отопление широко использовалось на протяжении нескольких столетий и не менее широко распространено в настоящее время. Более того, в последние годы при увеличении площадей застройки малоэтажными зданиями и гаражами увеличивается количество используемых населением отопительных установок различных видов, в том числе новых, поэтому опасность возникновения и развития пожаров из-за неправильной эксплуатации установок печного отопления повышается в несколько раз. Пожар может возникнуть из-за неправильной конструктивной сборки как самой печи в целом, так и отдельных ее частей (топливника, газохода или дымовой трубы), а также из-за низкой квалификации сборщика.

В России почти треть жилищного фонда составляют дома, относящиеся к так называемому частному сектору и имеющие печное отопление. Даже сейчас, в век высоких технологий, достаточно широкое применение печей обусловлено прежде всего

их доступностью. Неоспоримыми преимуществами печного отопления являются также относительно невысокая стоимость устройства по сравнению с другими видами отопления, простота в обслуживании, разнообразие и доступность топочных материалов и независимость отопления отдельных помещений с одновременным обеспечением их вентиляции.

В материалах экспертной практики накоплена масса новых данных, полученных в процессе исследования печных установок при производстве пожарно-технических экспертиз подразделениями Экспертно-криминалистического центра (ЭКЦ) МВД России. Практика исследования пожаров, возникших из-за неправильной эксплуатации или неисправности установок печного отопления (далее — пожаров от печного отопления), показывает, что наиболее часто встречающимися нарушениями, приводящими к возникновению пожара, являются:

- нагретые до высокой температуры поверхности печей, топочных дверок и размещение горючих материалов в непосредственной близости от них;
- плохое качество материалов, из которых изготовлены печи, и их несоответствие требованиям соответствующих норм;
- недостаточное расстояние от топочной дверки до противоположной стены, выполненной из горючих материалов;
- установка нетеплоемкой печи вплотную к строительной конструкции из сгораемого материала или на полу из сгораемого материала.

Все особенности исследования причин пожаров от печного отопления можно условно разбить на несколько групп [2]:

- возгорание частей зданий в результате непосредственного воздействия пламени, топочных газов, попадания искр на конструкции, введенные в отопительное устройство, или через трещины и неплотности в кладке печей, дымоходов и в их разделах;
- возгорание и тепловое самовозгорание частей зданий в результате прогрева (перекала) исправных печей и дымоходов при отсутствии или недостаточности разделок, отступок, расстояний между отопительными устройствами и строительными конструкциями;
- возгорание и тепловое самовозгорание предметов и материалов, находящихся в помещениях и оказавшихся в непосредственной близости от неисправных или перегретых отопительных приборов и дымоходов;
- возгорание частей зданий, предметов, материалов в результате попадания горящего топлива, углей, искр, воздействия лучистой теплоты или конвекции через топочные и другие эксплуатационные отверстия печей и дымоходов (в том

числе использование ЛВЖ и ГЖ для растапливания печей).

Наиболее часто происходят пожары вследствие нарушения правил эксплуатации установок печного отопления, причем значительную долю их составляют пожары из-за перегрева исправной печи.

Подтверждение факта перегрева весьма важно для следствия. В зависимости от того, какова причина пожара — неисправность или перегрев исправного отопительного прибора, устанавливается степень ответственности разных лиц. Однако выявить зависимость возникновения пожара от перегрева печи значительно труднее, чем от неисправности конструкции при нарушении условий пожарной безопасности. Уже одно это обстоятельство обязывает подходить к установлению причины пожаров с особой тщательностью. Кроме того, расследование пожаров, возникающих из-за перегрева исправных отопительных приборов и их дымоходов, имеет некоторые особенности. При отсутствии таких очевидных признаков пожара, как неисправность отопительного прибора, и тем более при наличии других версий не только возникновение пожара из-за прогрева, но и сам факт перекала отопительного прибора требует дополнительных доказательств.

Основными факторами, приводящими к перегреву установок печного отопления, являются длительная эксплуатация, превышающая пределы естественного износа, и завышенное теплонапряжение материала печной установки.

Для определения причин пожара этой группы важно иметь хотя бы ориентировочное представление о температурном режиме в отопительном приборе. Необходимо также располагать точными данными об условиях, в которых возник пожар.

К таким данным следует отнести: сведения о конструкции и размерах печи, об устройстве и состоянии ее отдельных частей, о количестве и качестве топлива, сожженного в процессе топки, и о продолжительности данного процесса.

На конструкцию печи существенное влияние оказывает вид используемого топлива и режим топки, который может быть периодическим, затяжным или непрерывным [2, 3].

Помимо конструкционной особенности печи, выбор топлива определяется в основном его доступностью и удобством применения [4]. К наиболее распространенным в России видам твердого топлива для печного отопления относятся древесина, антрацит, древесный и каменный уголь.

Древесина — наиболее распространенный вид твердого топлива для печного отопления в сельской местности. Элементарный состав горючей массы древесины следующий: около 51 % углерода, 6 % водорода, до 1 % азота и серы и 42 % кислорода.

Так как содержание кислорода высокое, теплота сгорания в зависимости от влажности древесины будет составлять 11,7–13,8 МДж/кг.

Древесный уголь получают разложением древесины без доступа воздуха при температуре 500–600 °С. Органическая масса древесного угля имеет следующий состав: 85–90 % углерода, 2–4 % водорода, остальное — кислород. Теплота сгорания в среднем составляет 24,2–26,0 МДж/кг.

Каменный уголь — наиболее распространенный вид ископаемых углей: на его долю приходится до 80 % мировых запасов. Каменный уголь за счет низкого содержания в своем составе воды и кислорода обладает высокой теплотой сгорания — 20,9–30,1 МДж/кг.

Антрацит почти не содержит летучих веществ, его органическая масса состоит в основном из углерода (до 94 %), а остальное приходится на долю водорода и серы. Теплота сгорания в зависимости от содержащихся компонентов составляет 29,3–30,9 МДж/кг [5].

Практика показывает, что в процессе пожарно-технической экспертизы при определении причин пожаров, связанных с тепловым воздействием печного отопления, органами следствия учитываются не только конструктивные особенности печи и режим топки, но и вид используемого топлива.

Как правило, после пожара и интенсивного термического воздействия отобрать неповрежденные объекты возможно лишь в микроколичествах. При производстве пожарно-технических исследований анализ столь малого количества образцов общепринятыми методами (прокаливание, взаимодействие с различными реагентами и др.) не представляется возможным. Поэтому в экспертно-криминалистическом центре МВД России была проведена исследовательская работа по оценке возможности применения методов термического анализа (термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК)) для исследования малых количеств объектов, отобранных на месте пожара отопительных печей.

Анализ литературных данных [6] показал, что работы по использованию термического анализа непосредственно для определения пожароопасных характеристик веществ и материалов проводились и раньше. При этом выявлялись корреляционные связи общепринятых пожароопасных характеристик веществ, определенных стандартными методами, с информацией, получаемой методом ТГ и ДТА. В частности, было предложено использовать методы ТГ и ДТА для определения температуры самовоспламенения углей и других углеродсодержащих материалов.

Исследовались также бурые и каменные угли с различным содержанием углерода. Установлено,

что максимум на кривой $dT/T = f(T)$ можно принимать за температуру самовоспламенения вещества. По сравнению с классическим методом определения, при котором температура самовоспламенения оценивается субъективно по появлению пламени или дыма, термический метод более стабилен и объективен в оценке этого явления [7].

Исходя из вышеизложенного, авторами были проведены исследования образцов древесины и угля методом синхронного термического анализа на приборе SDT Q-600 на предмет их дифференциации по различным показателям.

Подготовка образцов для проведения экспериментальных исследований осуществлялась в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53293–2009 [8].

Измерения проводились в платиновых тиглях при следующих условиях:

- скорость нагрева 10 °С/мин;
- температурный диапазон нагрева образцов — от 30 до 1000 °С;
- термopара — платина/платина–родий;
- атмосфера — воздух;
- расход газа 100 мл/мин;
- масса образцов 0,8–1,0 мкг.

Погрешность воспроизводимости полученных результатов при доверительной вероятности 95 % не превышала 10 %. Результаты исследования образцов древесины (осина, береза) представлены на рис. 1.

Согласно полученным данным теплота сгорания различных сортов древесины составляет 1189 Дж/г для образцов березы и 1809 Дж/г для образцов осины. На начальной стадии разложения потери массы образцов березы и осины, обусловленные испарением из них влаги, незначительно отличаются друг от друга — 7,4 и 7,8 % соответственно.

Первая стадия активного термического разложения наступает при температуре около 252,11 и 253,76 °С для образцов осины и березы соответственно, что связано с разрушением углерод-кислородных связей целлюлозы.

Вторая стадия наступает при температуре 450 и 480 °С для образцов березы и осины соответственно и связана с разрушением углерод-углеродных связей углеродного скелета макромолекул древесины.

Результаты термического анализа древесного угля, представленные на рис. 2, показывают, что температура начала горения находится в пределах 400–410 °С.

Потери массы на начальной стадии разложения, равные 5,5 %, обусловлены испарением влаги из образца. Следует отметить, что из-за высокой адсорбционной способности материала образца при дальнейшем исследовании происходит лишь незначительное испарение воды. Стадия активного тер-

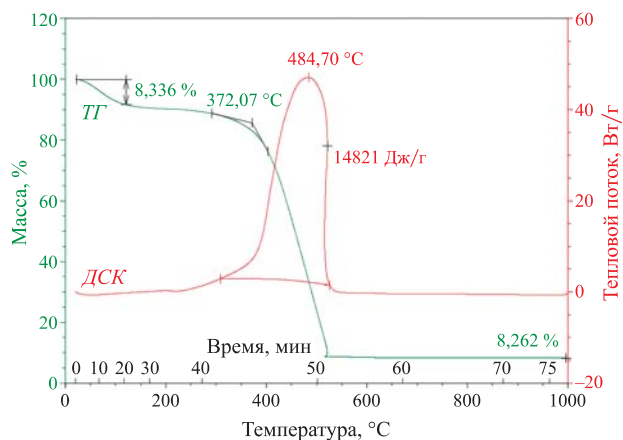
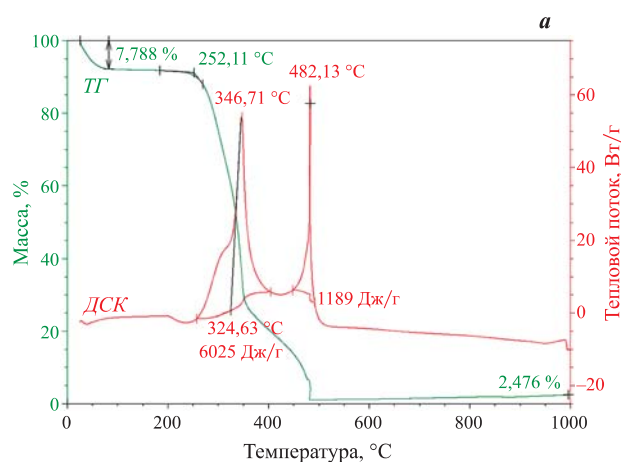


Рис. 3. Термограмма каменного угля

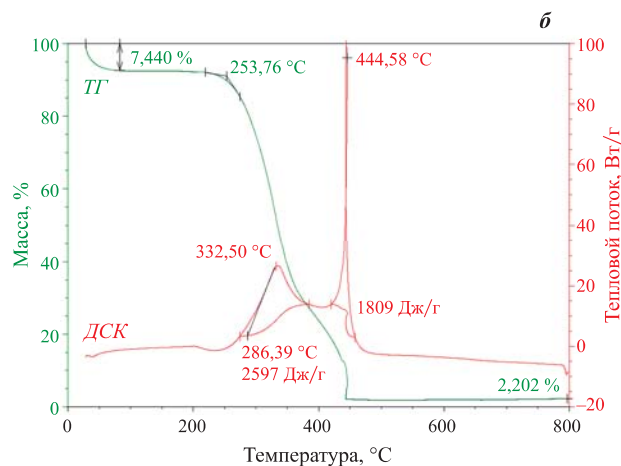


Рис. 1. Термограммы древесины — осины (а) и березы (б)

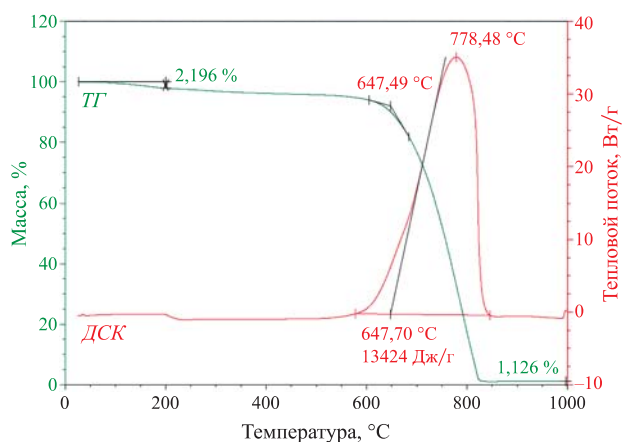


Рис. 4. Термограмма антрацита

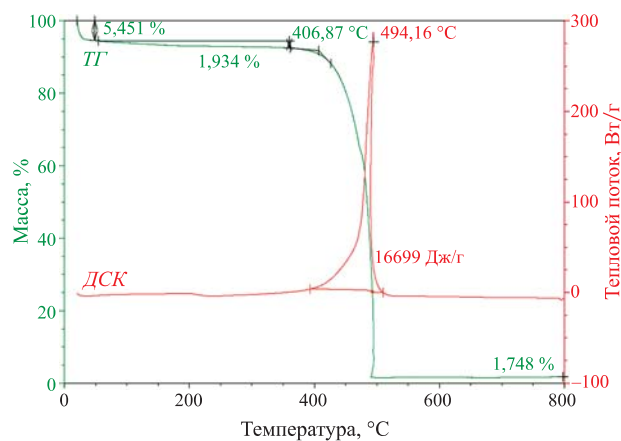


Рис. 2. Термограмма березового древесного угля

мического разложения образца древесного угля наступает при температуре около 500 °C, что соответствует началу второй стадии термического разложения образцов древесины (осины и березы). При этом теплота сгорания древесного угля (16699 Дж/г) почти в 4 раза превышает теплоту сгорания древесины (2597 Дж/г).

Результаты исследования образцов каменного угля представлены на рис. 3. Из рис. 3 видно, что на

начальной стадии потери массы образца каменного угля составляют 8,3 %, что обусловлено испарением как влаги, так и летучих органических соединений, содержащихся в образце.

Стадия термического разложения начинается при температуре около 370 °C и соответствует переходу основной угольной массы в пластическое состояние с одновременным выделением летучих веществ. Теплота сгорания образца каменного угля несколько ниже по сравнению с древесным углем (14821 и 16699 Дж/г соответственно). Однако продолжительность горения образца каменного угля в несколько раз выше, чем древесного. Кроме того, зольность образцов каменного угля значительно выше зольности древесного угля, что объясняется наличием в каменном угле определенного количества минеральных примесей.

При анализе результатов термического анализа антрацита (рис. 4) установлено, что температура начала его термического разложения равна 647 °C, что существенно выше, чем для каменного и древесного угля (372,07 и 406,87 °C соответственно). Снижение массы образца антрацита составляет около 2 %, что главным образом обусловлено потерей летучих органических соединений, содержащихся в угле. Теп-

лота сгорания антрацита (14821 Дж/г) меньше, чем теплота сгорания древесного угля (16699 Дж/г). В то же время и каменный уголь, и антрацит обладают высокой удельной теплотой сгорания.

Зольность антрацита незначительная, что можно объяснить высокой степенью его углефикации по сравнению с другими ископаемыми углями.

Анализ полученных термограмм показывает, что исследованные образцы древесины и углей — древесного, каменного и антрацита — существенно отличаются по температуре и скорости термиче-

ского разложения, а также по начальным потерям массы и зольному остатку. Это позволяет не только дифференцировать их по определенным показателям, но и производить оценку теплоты сгорания для дальнейшего расчета нагрузки на материал печных отопительных установок при определении причины пожара в результате их перегрева. Кроме того, имея базу данных результатов термического анализа, можно определить вид топлива, что позволит сделать вывод о возможности перегрева печных установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интернет-сайт МЧС РФ. URL: <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 18.03.2013 г.)
2. Мегорский Б. В. Методика установления причин пожаров от печного отопления. — М. : МКХ РСФСР, 1961.
3. Соснин Ю. П., Бухаркин Е. Н. Отопление и горячее водоснабжение индивидуального дома : справочное пособие. — М. : Стройиздат, 1991.
4. ГОСТ 9817–95. Аппараты бытовые, работающие на твердом топливе. Общие технические условия. — Введ. 01.01.2000 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1999.
5. Итинская Н. И. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости : учебное пособие. — М. : Колос, 1974.
6. Питрюк А. П., Ожегов К. С. Возможности экспертного исследования микроколичеств ископаемых углей // Экспертная практика : сб. статей. — М. : ВНИИ МВД СССР, 1987. — С. 17–24.
7. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). — СПб. : Санкт-Петербургский институт пожарной безопасности МВД РФ, 1977. — 562 с.
8. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. — Введ. 01.01.2010 г. — М. : Стандартинформ, 2009.

Материал поступил в редакцию 9 апреля 2013 г.

English

USE OF METHODS OF SIMULTANEOUS THERMAL ANALYSIS FOR RESEARCH OF COAL IN PRODUCTION OF FIRE-TECHNICAL EXAMINATION

DASHKO L. V., Researcher of Scientific-Research Laboratory of Expert-and-Criminalistic Centre, Ministry of the Interior of Russian Federation (Zoi i Aleksandra Kosmodemyanskikh St., 5, Moscow, 125130, Russian Federation)

KLYUCHNIKOV V. Yu., Deputy Head of Explosion and Fire-and-Technical Expertise Department, Management of Technical Expertise of Expert-and-Criminalistic Centre, Ministry of the Interior of Russian Federation (Zoi i Aleksandra Kosmodemyanskikh St., 5, Moscow, 125130, Russian Federation)

PLOTNIKOVA G. V., Candidate of Chemical Sciences, Docent, Associate Professor of Department of Fire Technical Examination, Eastern-Siberian Institute of Ministry of the Interior of Russian Federation (Lermontova St., 110, Irkutsk, 664074, Russian Federation; e-mail address: plotnikovagv@mail.ru)

ABSTRACT

Furnace heating — view local heating, in which the premises are heated installed heating furnaces. Thanks to the simplicity of the device and the possibility of using various types of local fuel, furnace heating widespread in different countries and used for centuries. In recent years, with increasing areas

of building of low-rise buildings and garages increases the number of used heating installations of various kinds. In recent years, with increasing areas of building of low-rise buildings and garages increases the number of used heating installations of various kinds. Practice of research fires shows that the most frequent violations that led to the occurrence of fires, are heated to a high temperature surfaces of furnaces, furnace doors and location of the combustible materials in the immediate vicinity. To the most widespread in Russia fuels for heating furnace include wood, coal, charcoal, and coal. After the fire and intensive thermal influence select undamaged objects is possible only in trace. In forensic science center of Ministry of internal Affairs of Russia has carried out research to assess the possibility of applying the methods of thermal analysis for the study of small amount of coal taken from the scene of a fire heating stoves. Studies have been conducted samples of wood and coal by method of simultaneous thermal analysis (instrument SDT Q-600) for their differentiation. The results allow to evaluate the heat of combustion of fuel samples to estimate the load on the material furnaces in production of fire-technical examination.

Keywords: fire; fire-technical examination; furnace heating; not slow heat; thermal methods of analysis; thermogravimetry; brown coal; charcoal; anthracite.

REFERENCES

1. Internet-site of the Emercom of Russia. Available at: <http://www.mchs.gov.ru> (Accessed 18 March 2013).
2. Megorskiy B. V. *Metodika ustanovleniya prichin pozharov ot pechnogo otopleniya* [Methodology for determining the cause of fire from the stove heating]. Moscow, Ministry of Municipal Economy of RSFSR Publ., 1961.
3. Sosnin Yu. P., Bukharkin E. N. *Otopleniye i goryacheye vodosnabzheniye individualnogo doma: spravochnoye posobiye* [Heating and hot water supply of individual houses: a reference manual]. Moscow, Stroyizdat, 1991.
4. *State Standard 9817–95. Household apparatus using the solid fuel. General specifications*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1999 (in Russian).
5. Itinskaya N. I. *Toplivo, smazochnyye materialy i tekhnicheskiye zhidkosti: uchebnoye posobiye* [Fuel, lubricants and technical liquids: training manual]. Moscow, Kolos Publ., 1974.
6. Pitryuk A. P., Ozhegov K. S. *Vozmozhnosti ekspertnogo issledovaniya mikrokolichestv iskopayemykh ugley* [Possibilities of expert research quantities of fossil coal]. *Ekspertnaya praktika: sbornik statey* [Expert practice: collection of articles]. Moscow, Ministry of the Interior of USSR Publ., 1987, pp. 17–24.
7. Cheshko I. D. *Ekspertiza pozharov (obyekty, metody, metodiki issledovaniya)* [Expertise of fires (objects, methods, research methods)]. St. Petersburg, St. Petersburg Institute of Fire Safety of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1977. 562 p.
8. *National Standard of the Russian Federation 53293–2009. Fire hazard of substances and materials. Materials, substance and fire protective means. Identification by thermal analysis methods*. Moscow, Standartinform Publ., 2009 (in Russian).

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

А. С. АВДЕЕВ, нач. сектора ФГБУ "Судебно-экспертное учреждение Федеральной противопожарной службы "Испытательная пожарная лаборатория по Пермскому краю" (Россия, 614990, г. Пермь, ул. Большевикская, 53а; e-mail: asipl@ugps.perm.ru)

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)

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

УДК 614.84:662

ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ОПАСНОЙ ЛВЖ ПРИ КАТЕГОРИРОВАНИИ ПОМЕЩЕНИЙ

Проведен сравнительный критический анализ существующих критериев выбора наиболее опасной легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ). Показана несостоятельность рейтинга взрывоопасности ЛВЖ по СТО Газпром 2-1.1-321–2009 и плохая согласованность критериев K_1 , R_1 , Γ_1 , ΔV_1 и ΔV_2 между собой. В связи с тем что показатели ΔV_1 и ΔV_2 являются универсальными результатами расчета по СП 12.13130.2009, они могут быть рекомендованы для практического использования при определении категорий помещений по взрывопожароопасности в случае обращения нескольких индивидуальных или псевдоиндивидуальных ЛВЖ. Однако при установлении наиболее взрывоопасного компонента неиндивидуальных ЛВЖ критерий Γ более предпочтителен из-за простоты его расчета.

Ключевые слова: легковоспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ); взрывоопасность; критерий; рейтинг.

При проектировании новых или реконструкции старых зданий, сооружений, строений и помещений производственного и складского назначения класса Ф.5, на которых обращаются легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ), возникает потребность в категорировании этих помещений по взрывопожарной и пожарной опасности. Ст. 21 Федерального закона "О пожарной безопасности" [1] и п. А.1.1 СП 12.13130.2009 [2] требуют производить оценку пожарной (взрывопожарной) опасности горючей нагрузки и технологических процессов, поэтому при практических расчетах в качестве расчетной аварийной ситуации выбирается наиболее неблагоприятный вариант аварии, при котором участвует наибольшее количество наиболее опасных горючих веществ. В случае обращения на производстве или при хранении на складе нескольких видов ЛВЖ возникает проблема выбора наиболее взрывоопасной жидкости.

Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [3] и ГОСТ 12.1.044–89* [4] предлагают для оценки пожаровзрывоопасности жидкостей целый набор показателей. Однако далеко не для всех ЛВЖ показатели пожарной опасности опреде-

лены в полном объеме, но даже при полном наборе этих показателей отнюдь не просто привести их к какому-либо усредненному параметру, по которому можно было бы провести ранжирование ЛВЖ. В настоящее время существует ранжирование ЛВЖ по температуре вспышки. Так, например, ГОСТ 12.1.044–89* [4] в классе ЛВЖ выделяет группу особо опасных с $t_{всп} \leq 28^\circ\text{C}$, а в ГОСТ Р 53856–2010 [5] нашли свое отражение рекомендации ООН [6], согласно которым воспламеняющиеся жидкости делятся на четыре класса. Недавно на примере органических растворителей для аналитических лабораторий было показано, что без проведения расчетов на основании простого сравнения как температуры вспышки, так и основных показателей пожаровзрывоопасности нельзя выбрать наиболее опасную ЛВЖ [7, 8].

В настоящее время активно разрабатываются комплексные показатели опасности (безопасности) ЛВЖ. Так, Щегловым с колл. предложен комплексный показатель K , учитывающий пожарную опасность, токсичность и скорость испарения ЛВЖ [9]. Чем выше у ЛВЖ показатель K , тем большую опасность она представляет:

$$K = (K_{\text{пож}} + K_{\text{токс}})W_{\text{исп}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{пож}}$ — показатель пожарной опасности;

$$K_{\text{пож}} = C_{\text{нас}}/C_{\text{н}};$$

$C_{\text{нас}}$ — концентрация насыщенного пара ЛВЖ при рабочей температуре, %;

$C_{\text{н}}$ — нижний концентрационный предел воспламенения, %;

$K_{\text{токс}}$ — показатель токсичности;

$$K_{\text{токс}} = C_{\text{нас}}/(500\text{ПДК});$$

ПДК — предельно допустимая концентрация, мг/м³.

Воронежскими исследователями предложен обобщенный критерий химической и пожарной безопасности растворителей R , который, по мнению его авторов, обратно пропорционален уровню безопасности растворителей [10, 11]:

$$R = \sum_{i=1}^m \left(a_i \frac{x_i}{y_i} \right), \quad (2)$$

где a_i — весовой коэффициент;

x_i — i -й показатель;

y_i — нормируемое значение i -го показателя (табл. 1).

Исключение из уравнений (1) и (2) показателя $K_{\text{токс}}$ и ПДК приводит к новым комплексным показателям взрывопожароопасности ЛВЖ — R_1 и K_1 .

Для выбора наиболее опасного компонента из органического растворителя смеси природы на основе СП 12.13130.2009 [2] предложен комплексный показатель взрывоопасности паровоздушной смеси Π [12], который определяется по формуле (3), полученной путем комбинации и упрощения уравнений (А.4), (А.12) и (А.13) из [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P = \frac{m \Delta H_{\text{гор}} P_0 Z}{V_{\text{св}} \rho_{\text{в}} C_p T_0 K_{\text{н}}}; \quad (\text{А.4}) \\ m = W F_{\text{и}} \tau; \quad (\text{А.12}) \\ W = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_{\text{нас}}; \quad (\text{А.13}) \end{array} \right\} \Rightarrow \quad (3)$$

$$\Rightarrow \Pi = \sqrt{M} n P_{\text{нас}} \Delta H_{\text{гор}} \cdot 10^{-6},$$

где m — масса паров ЛВЖ, кг;

$\Delta H_{\text{гор}}$ — низшая теплота сгорания, Дж/кг;

Таблица 1. Коэффициенты для уравнения (2)

x_i	y_i	a_i
Температура кипения, °С	100	0,10
Температура вспышки, °С	25	0,25
Температура самовоспламенения, °С	440	0,24
Давление насыщенного пара, мм рт. ст.	45	0,10
Предельно допустимая концентрация (ПДК), мг/м ³	300	0,31

P_0 — атмосферное давление, кПа;

Z — коэффициент участия горючих газов и паров ЛВЖ в горении;

$V_{\text{св}}$ — свободный объем помещения, м³;

$\rho_{\text{в}}$ — плотность воздуха при T_0 , кг/м³;

C_p — теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/(кг·К);

T_0 — расчетная температура воздуха в помещении, К;

$K_{\text{н}}$ — безразмерный коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения;

W — интенсивность испарения, кг/(с·м²);

$F_{\text{и}}$ — площадь испарения, м²;

τ — время испарения, с;

η — поправочный безразмерный коэффициент;

M — молекулярная масса, кг/кмоль;

$P_{\text{нас}}$ — давление насыщенных паров ЛВЖ при начальной температуре T_0 , кПа;

n — массовая доля компонента;

10^{-6} — коэффициент, переводящий теплоту сгорания из Дж/кг в МДж/кг.

Исключение из уравнения (3) параметров, учитывающих влияние условий испарения неиндивидуальных ЛВЖ и геометрии помещений, вполне оправдано, так как каждый компонент смесового растворителя испаряется в одних и тех же условиях. По мнению создателей этого критерия, чем больше показатель Π , тем выше взрывоопасность паров ЛВЖ [12].

Для индивидуальных и псевдоиндивидуальных* ЛВЖ уравнение (3) принимает следующий вид:

$$\Pi_1 = \sqrt{M} P_{\text{нас}} \Delta H_{\text{гор}} \cdot 10^{-6}. \quad (3а)$$

На основе [2] в качестве критериев взрывоопасности ЛВЖ приняты удельные безопасные объемы помещений ΔV_1 и ΔV_2 [7, 8, 15]. Для их определения предложены уравнения (4) и (5), которые выведены из формул для расчета избыточного давления взрыва (А.1) и (А.2) [2]:

$$\left\{ \Delta P = (P_{\text{max}} - P_0) \frac{100mZ}{V_{\text{св}} \rho_{\text{п}} C_{\text{ст}} K_{\text{н}}}; \quad (\text{А.1}) \right\} \Rightarrow \quad (4)$$

$$\Rightarrow \Delta V_1 = (P_{\text{max}} - P_0) \frac{2,5m}{\rho_{\text{п}} C_{\text{ст}}};$$

$$\left\{ \Delta P = \frac{m \Delta H_{\text{гор}} P_0 Z}{V_{\text{св}} \rho_{\text{в}} C_p T_0 K_{\text{н}}}; \quad (\text{А.4}) \right\} \Rightarrow \quad (5)$$

$$\Rightarrow \Delta V_2 = \frac{m \Delta H_{\text{гор}} P_0}{40 \rho_{\text{в}} C_p T_0},$$

где P_{max} — максимальное давление взрыва, кПа;

* Под псевдоиндивидуальной ЛВЖ авторы понимают ЛВЖ смесового состава, для которой известна общая брутто-формула. Например, для бензина АИ-93 общая брутто-формула — $\text{C}_{6,911}\text{H}_{12,188}$ [13, 14].

Таблица 2. Рейтинги ЛВЖ по взрывоопасности

ЛВЖ	Номер по [13]	Рейтинг по $K_1/R_1/P/\Delta V_1/\Delta V_2$ при температуре, °C				
		20	30	40	50	60
Пентан	1	1/2/1/2/2	1/1/1/3/3	1/1/1/4/4	1/1/1/5/5	1/1/1/5/5
Бензин АИ-93	2	2/11/2/1/1	2/11/2/1/1	2/11/2/1/1	2/10/3/2/2	4/8/3/2/2
Гексан	3	3/13/3/3/3	3/12/3/2/2	3/10/3/3/3	3/6/2/4/4	2/4/2/4/4
Ацетон	4	4/4/4/5/4	4/2/4/5/4	4/2/4/6/5	4/2/4/9/6	3/2/4/11/9
Бензол	5	5/9/5/4/5	5/9/5/4/5	5/8/5/2/2	5/5/5/1/1	5/6/5/1/1
Гептан	6	6/12/6/6/6	6/13/6/6/6	6/13/6/5/6	6/13/6/3/3	6/12/6/3/3
Керосин	7	13/1/13/13/13	13/4/13/13/13	13/6/13/13/13	13/9/13/13/13	13/11/13/13/13
Метанол	8	7/5/7/7/7	7/3/7/8/7	7/3/7/8/7	7/3/7/12/9	7/3/7/12/11
Изопропанол	9	8/7/9/11/9	8/7/8/10/9	8/7/8/10/8	8/7/8/8/7	8/7/8/9/7
Этанол	10	11/6/8/9/8	9/6/9/9/8	9/4/9/9/9	9/4/9/7/8	9/5/9/10/10
Толуол	11	9/8/10/10/10	11/8/10/11/10	11/9/10/11/10	11/11/10/11/10	11/10/11/8/8
Дизтопливо "зимнее"	12	10/3/11/8/11	10/5/11/7/11	10/5/11/7/11	10/8/11/6/11	10/9/11/6/6
Октан	13	12/10/12/12/12	12/10/12/12/12	12/12/12/12/12	12/12/12/10/12	12/13/12/7/12

Примечание. Жирным шрифтом выделены данные для случая полного испарения 1 л ЛВЖ.

$\rho_{\text{п}}$ — плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре T_0 , кг/м³;

$C_{\text{ст}}$ — стехиометрическая концентрация паров ЛВЖ, % (об.).

Под удельным безопасным объемом помещения ΔV понимается минимальный объем помещения, отнесенный к аварийному разливу 1 л ЛВЖ, при котором создается избыточное давление взрыва паровоздушной смеси 5 кПа. По физической сущности эти критерии являются универсальными и упрощенными результатами расчета по проверке отнесения помещений к категории А или Б, преимущество которых заключается в том, что они могут использоваться многократно и для любых количеств ЛВЖ и объемов помещений.

В СТО Газпром 2-1.1-321–2009 [13] приведено ранжирование 13 ЛВЖ по взрывоопасности (табл. 2), но не указано, по каким критериям оно было проведено.

Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время имеются различные подходы к оценке взрывоопасности ЛВЖ в закрытом помещении, поэтому их сравнение представляет не только научный, но и практический интерес. В качестве объекта исследования выбраны 13 ЛВЖ, приведенные в [13]. По формулам (1), (2), (3а), (4) и (5) с учетом вышеуказанных примечаний к уравнениям (1) и (2) определены рейтинги взрывоопасности ЛВЖ при различных температурах и скорости воздушного потока 0 м/с (см. табл. 2). Для удельных безопасных объемов помещения ΔV_1 и ΔV_2 время испарения ЛВЖ принималось равным 3600 с и прово-

дилось сравнение расчетной массы паров ЛВЖ с первоначальной массой 1 л его конденсированной фазы. Данные для случая полного испарения 1 л ЛВЖ в табл. 2 выделены жирным шрифтом. Исходные данные для расчетов взяты из нормативной и справочной литературы [13, 14, 16–18]. В связи с тем что за точку сравнения выбран рейтинг взрывоопасности ЛВЖ по классификации Газпрома [13], приоритет выбора исходных данных совпадает с вышеприведенной последовательностью литературных источников. При составлении рейтингов ЛВЖ по взрывоопасности было проигнорировано приведенное в табл. А1 СП 12.13130.2009 замечание о том, что при температуре окружающей среды ниже температуры вспышки пары ЛВЖ не склонны к взрыву [2], поскольку известны примеры взрывов паров дизельного топлива в этих условиях [19, 20]. В данном замечании [2] не учитывается ни мощность источника зажигания, ни время его воздействия, которые играют далеко не последнюю роль.

Анализ данных табл. 2 показывает, что в рейтинге взрывоопасности ЛВЖ по показателям K_1 , P_1 , ΔV_1 и ΔV_2 керосин оказывается ниже дизельного топлива. Это обстоятельство позволяет усомниться в приемлемости значений констант Антуана для керосина, приведенных в СТО Газпрома [13]. В прогнозировании взрывоопасности ЛВЖ критерии K_1 , R_1 , P_1 , ΔV_1 и ΔV_2 плохо согласуются между собой. Различие в рейтингах по ΔV_1 и ΔV_2 связано с недостаточной согласованностью между собой уравнений (А.1) и (А.4) из [2] и со скрытым недостатком формулы (А.1), что отмечалось нами ранее [7, 8, 15].

Учитывая, что показатели ΔV_1 и ΔV_2 являются универсальными результатами расчета по СП 12.13130.2009 [2], их можно рекомендовать для практического использования при определении категорий помещений по взрывопожароопасности в случае обра-

ния нескольких индивидуальных или псевдоиндивидуальных ЛВЖ. В то же время при установлении наиболее взрывоопасного компонента неиндивидуальных ЛВЖ критерий P более предпочтителен из-за простоты его расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О пожарной безопасности (с изм. и доп.): Федер. закон от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ (в ред. от 30.11.2011); принят Гос. Думой 18.11.94 г.; введ. 26.12.94 г. // Собр. законодательства РФ. — 1994. — № 35, ст. 3649.
2. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 182; введ. 01.05.2009 г. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — Т. 48, № 2.
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
4. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: постановление Госстандарта СССР от 12.12.89 г. № 3638; введ. 01.01.91 г. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996; 2001. Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — Т. 48, № 2.
5. ГОСТ Р 53856–2010. Классификация опасности химической продукции. Общие требования. — Введ. 01.01.2011 г. — М.: Стандартинформ, 2011. — 28 с.
6. ST/SG/AC.10/30/Rev.4. Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS). Fourth revised edition. — N. Y., Geneva: UN Publ., 2011. — 568 p.
7. Рудаков О. Б., Алексеев С. Г., Бердникова Н. В., Калач А. В., Барбин Н. М. Пожаровзрывобезопасность хроматографической аналитической лаборатории // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 1. — С. 57–60.
8. Алексеев С. Г., Рудаков О. Б., Черпахин А. М. и др. Пожарная безопасность исследовательских лабораторий, применяющих жидкостную экстракцию и хроматографию // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2012. — Т. 12, вып. 5. — С. 651–659.
9. Щеглов П. П., Жолобов В. И., Ложникова Т. И. Проблема безопасности при роспуске с сортировочных горок вагонов с легковоспламеняющимися жидкостями // Вестник ВНИИЖТ. — 2005. — № 6. URL: <http://www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v2005-6/v6-2.htm> (дата обращения: 10.04.2013 г.).
10. Рудаков О. Б., Беляев Д. С., Паринов Д. Б., Рудакова Л. В. Обобщенный критерий химической и пожарной безопасности растворителей // Пожарная безопасность. — 2005. — № 6. — С. 81–85.
11. Бердникова Н. В., Исаев А. А., Чуйков А. М. и др. Информационно-экспертная система в анализе пожарной опасности жидкостей // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2011. — Т. 7, № 8. — С. 206–208.
12. Земский Г. Т., Зуйков В. А. Особенности категорирования помещений с наличием жидких смесевых композиций // Пожарная безопасность. — 2012. — № 4. — С. 49–66.
13. СТО Газпром 2-1.1-321–2009. Перечень помещений, зданий и наружных установок с категориями по взрывопожарной и пожарной опасности для объектов транспортировки газа ОАО “Газпром”: распоряжение ОАО “Газпром” от 13.10.2008 г. № 343; введ. 19.06.2009 г. URL: <http://www.snti.ru> (дата обращения: 10.04.2013 г.).
14. Пособие по применению НПБ 105–95 “Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной опасности при рассмотрении проектно-нормативной документации”. Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — Т. 48, № 2.
15. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С., Пищальников А. В. О взрывопожароопасности водочной продукции // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 2. — С. 20–23.
16. 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.
17. 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.
18. Dykx J., Svoboda J., Wilhoit R. C., Frenkel M., Hall K. R. Vapor Pressure and Antoine Constants for Hydrocarbons, and Sulfur, Selenium, Tellurium, and Halogen Containing Organic Compounds / Vapor Pressure of Chemicals // Landolt-Börnstein. Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. Group IV: Physical Chemistry. — Berlin: Springer-Verlag, 1999. — Vol. 20. — P. 19.

19. Изучение особенностей поражения топливных баков танка Т-34 броневойно-фугасными и кумулятивными (бронепрожигающими) боеприпасами германской фашистской армии : отчет специалборатории НКВД № 101-1 от 11.09.1944 г. URL : <http://kris-reid.livejournal.com/187689.html#cutid1> (дата обращения: 15.04.2013 г.).
20. Сайт Kazinform. URL : <http://www.inform.kz/rus/article/2424685> (дата обращения: 05.04.2013 г.).

Материал поступил в редакцию 26 апреля 2013 г.

English

SELECTION OF THE MOST DANGEROUS FLAMMABLE LIQUID AT CATEGORIZATION OF COMPARTMENTS

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

AVDEEV A. S., Leader of Group 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: asipl@ugps.perm.ru)

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)

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

ABSTRACT

The comparative critical analysis of existing criteria for selection of the most dangerous flammable liquid. The insolvency of rating for explosion hazard of flammable liquids on STO Gazprom 2-1.1-321-2009 and a bad coordination of criteria K_1 , R_1 , II_1 , ΔV_1 and ΔV_2 among themselves is shown. Considering, that indicators ΔV_1 and ΔV_2 are universal results of calculation on the Set of Rules 12.13130.2009, because they will be to recommend for practical use at definition of categories of premises on explosion and fire hazard if the opportunity arises of number of individual or pseudo-individual flammable liquids. In a case of an establishment of the most explosive component unindividual flammable liquids criterion II is more preferable because its calculation is simple.

Keywords: flammable liquid; explosion hazard; criterion; rating.

REFERENCES

1. About Fire Safety. Federal Law on 21.12.1994 No. 69. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of Russian Federation*, 1994, no. 35, art. 3649 (in Russian).
2. *Set of Rules 12.13130.2009. Determination of Categories of Rooms, Buildings and External Installations on Explosion and Fire Hazard Data*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2009. Available at: NSIS PB, 2012, vol. 48, no. 2 (in Russian).
3. Technical Regulations about Fire Safety Requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
4. *State Standard 12.1.044-89*. Occupational Safety Standards System. Fire and Explosion Hazard of Substances and Materials. Nomenclature of Indices and Methods of their Determination*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2001. Available at: NSIS PB, 2012, no. 2 (48) (in Russian).

5. *National Standard of the Russian Federation 53856–2010. Classification of Chemicals Hazard. General Requirements*. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 28 p. (in Russian).
6. *ST/SG/AC.10/30/Rev.2. Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)*. Fourth revised edition. N. Y., Geneva, UN Publ., 2011. 568 p.
7. Rudakov O. B., Alexeev S. G., Berdnikova N. V., Kalach A. V., Barbin N. M. Pozharovzryvobezopasnost khromatograficheskoy analiticheskoy laboratorii [Fire and explosion safety of chromatography laboratory]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 57–60. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17326716> (Accessed 20 April 2013).
8. Alexeev S. G., Rudakov O. B., Cherepakhin A. M. et al. Pozharnaya bezopasnost issledovatel'skikh laboratoriy, primenyayushchikh zhidkostnyuyu ekstraktsiyu i khromatografiyu [Fire and explosion safety of chromatography laboratory]. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy — Sorption and Chromatographic Processes*, 2012, vol. 12, no. 5, pp. 651–659.
9. Shcheglov P. P., Zholobov V. I., Lozhnikova T. I. Problema bezopasnosti pri rospuske s sortirovochnykh gorok vagonov s legkovosplamenyayushchimisya zhidkostyami [Safety problem at dissolution from gravity humps of carriages with flammable liquids]. *Vestnik VNIIZhT — Bulletin of All-Russian Railway Research Institute*, 2005, no. 6. Available at: <http://www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v2005-6/v6-2.htm> (Accessed 10 April 2013).
10. Rudakov O. B., Belyaev D. S., Parinov D. B., Rudakova L. V. Obobshchennyy kriteriy khimicheskoy i pozharnoy bezopasnosti solventov [Common criterion chemical and fire safety for solvents]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2005, no. 6, pp. 81–85.
11. Berdnikova N. V., Isaev A. A., Chuykov A. M. et al. Informatsionno-ekspertnaya sistema v analize pozharnoy opasnosti zhidkostey [The informational-expert system in the analysis of fire hazard of liquids]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta — Bulletin of Voronezh State Technical University*, 2011, vol. 7, no. 8, pp. 206–208.
12. Zemskiy G. T., Zuykov V. A. Osobennosti kategorirovaniya pomeshcheniy s nalichiyem zhidkikh smeseykh kompozitsiy [The categorization features of premises with presence of liquid mix compositions]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2012, no. 4, pp. 49–66.
13. *STO Gazprom 2-1.1-321–2009. Perechen pomeshcheniy, zdaniy i naruzhnykh ustanovok s kategoriyami po vzryvopozharnoy i pozharnoy opasnosti dlya obyektov transportirovki gaza OAO “Gazprom”* [A list of premises, buildings and outdoor units on classes of explosion and fire hazard for objects of gas transportation of Gazprom Ltd.]. Available at: <http://www.snti.ru> (Accessed 10 April 2013).
14. *Manual on NPB 105–95 “Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard for considering design-normative documentation*. Available at: NSIS PB, 2012, vol. 48, no. 2 (in Russian).
15. Alexeev S. G., Barbin N. M., Avdeev A. S., Pishchalnikov A. V. O vzryvopozharoopasnosti vodochnoy produktsii [About explosion and fire hazard of vodka]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 2, pp. 20–23. Available at: <http://www.fire-smi.ru/images/arhiv/22009.pdf> (Accessed 20 April 2013).
16. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovryvopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosive hazard of compounds and materials, and their fire extinguishing means. Handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Vol. 1, 713 p.
17. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovryvopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and Explosive Hazard of Compounds and Materials, and their Fire Extinguishing Means. Handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Vol. 2, 774 p.
18. Dykij J., Svoboda J., Wilhoit R. C., Frenkel M., Hall K. R. Vapor Pressure and Antoine Constants for Hydrocarbons, and Sulfur, Selenium, Tellurium, and Halogen Containing Organic Compounds. *Vapor Pressure of Chemicals. Landolt-Börnstein. Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology*. Group IV: Physical Chemistry, Berlin, Springer-Verlag, 1999, vol. 20, p. 19.
19. Izucheniye osobennostey porazheniya toplivnykh bakov tanka T-34 broneboyno-fugasnymi i kumulyativnymi (broneprozhigayushchimi) boyepripasami germanskoy fashistskoy armii [Studying of Features of Defeat of Fuel Forecastles of Tank T-34 by Armour-Piercing and the Cumulative Ammunition of the German Nazi Army]. Available at: <http://kris-reid.livejournal.com/187689.html#cutid1> (Accessed 15 April 2013).
20. Web-Site of Kazinform. Available at: <http://www.inform.kz/rus/article/2424685> (Accessed 5 April 2013).

С. В. ЖАРТОВСКИЙ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник
Украинского научно-исследовательского института гражданской защиты
(Украина, 01011, г. Киев, ул. Рыбальская, 18, e-mail: zhart20@ukr.net)

УДК 614.849

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДНЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ И ОГНЕТУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ

На основе системного подхода и предложенной структурно-логической схемы общей методики выполнения исследований построена подсистема пассивной и активной противопожарной защиты объекта с использованием водных огнезащитных и огнетушащих веществ. Показано, что с ее внедрением в систему противопожарной защиты объекта уровень пожарной опасности объекта может быть снижен в 14 раз.

Ключевые слова: системный подход; система противопожарной защиты объекта.

Системный подход чаще всего рассматривается как методология исследований для решения сложных задач. В общей теории систем этот подход определяется как объединение общих методологических принципов получения знаний о системных объектах. Система обеспечения пожарной безопасности объекта (СОПБО) является сложной системой. В данной работе системный подход применен для построения ее подсистемы — системы противопожарной защиты объекта (СППЗО).

Необходимо констатировать, что уровень пожарной безопасности объектов на Украине и в России находится пока еще на неудовлетворительном уровне [1]. Противопожарная защита объекта (ППЗО), как определено в [2], должна достигаться применением одного из восьми способов или их комбинацией. Анализируя эти способы, трудно представить работоспособность такой системы, поскольку почти каждый из них может реализовываться отдельной системой. В этих системах действует множество разноплановых факторов, которые приводят к разным по природе процессам. Именно поэтому к СППЗО в целом трудно применить системный подход.

Для упрощения рассмотрения СППЗО полезно применить два технических понятия (термина): пассивная ППЗО и активная ППЗО. Пассивная ППЗО определяется применением способов защиты, которые выполнены заблаговременно и не требуют дополнительной мобилизации во время тушения пожара. Активная ППЗО определяется применением способов, которые в любое время могут быть мобилизованы для тушения пожара. Пассивная и активная ППЗО достигаются применением определен-

ных технических средств и проведением соответствующих мероприятий. Из приведенных в [2] способов защиты к пассивной ППЗО следует отнести применение: автоматических установок пожарной сигнализации, оповещения и пожаротушения; основных строительных конструкций и материалов, в том числе используемых для облицовок конструкций, с нормированными показателями пожарной опасности; пропиток конструкций объектов антипиренами с нанесением на их поверхности огнезащитных красок (составов); устройств, обеспечивающих ограничение распространения пожара; средств противопожарной защиты. К активной ППЗО относятся: применение средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники; применение средств коллективной защиты людей от опасных факторов пожара; организация с помощью технических средств своевременного оповещения и эвакуации людей.

Опираясь на предложенную систематизацию, можно выделить один способ из пассивной ППЗО и один способ из активной ППЗО для их объединения и, используя системный подход, создать новое системное образование (подсистему). Такая подсистема базируется на применении вещества, имеющего ряд свойств, которые могут быть реализованы как огнезащитные и огнетушащие факторы. Объединяющим началом новой подсистемы может стать универсальное вещество для пожарной безопасности — вода. Вода с различными целевыми добавками может давать новые водные огнезащитные вещества (ВОЗВ) и новые водные огнетушащие вещества (ВОВ).

Целью данной работы является создание подсистемы пассивной и активной противопожарной за-

щиты объекта с использованием ВОЗВ и ВОВ. Методологией работы является системный подход.

Анализируя статистические данные по пожарам на Украине с позиций противопожарной защиты объекта, можно выделить три группы пожаров. К первой группе относятся пожары на объектах, на которых не реализована пассивная ППЗО (т. е. отсутствует огнезащита деревянных конструкций). Возгорания на таких пожарах, как правило, начинались на чердаках в подкровельном пространстве и быстро развивались. Обычно пожарные подразделения приступали к тушению пожаров на 10–15-й минуте с начала пожара, т. е. на стадии развитого пожара. Чаще всего для тушения пожара применялись компактные водяные струи. Как следствие, наблюдались значительные убытки как от самого пожара, так и от воздействия воды.

Вторая группа объединяет пожары на тех объектах, на которых огнезащитная обработка деревянных конструкций по разным причинам оказалась неэффективной. До 1999 г. на Украине чаще всего применялся широко распространенный на постсоветском пространстве огнебиозащитный состав МС, отдельные компоненты которого (аммонийные соли фосфорной кислоты и фторид натрия) проявляют антагонизм при ингибировании цепных реакций пламенного горения [3]. С учетом процессов высаливания срок огнезащиты был невысоким — немногим более года. Ввиду низкой эффективности пассивная ППЗО не выполняла своих функций, поэтому последствия ликвидации пожаров были такими же, как и в первой группе.

В третью группу входят пожары на объектах, на которых огнезащита деревянных конструкций реализована обработкой их эффективными пропиточными составами. С конца 90-х годов прошлого века появились новые огнебиозащитные пропиточные составы, более эффективные, чем МС. На Украине более 10 лет успешно применяются составы ДСА-1 и ДСА-2, обеспечивающие необходимый уровень пассивной ППЗО. Например, в 2003 г. на строящемся объекте (пятизвездочный отель “Донбасс-Палас”) возник пожар. В результате нарушений правил пожарной безопасности при производстве строительномонтажных работ произошло загорание битумоподобного покрытия кровли. Несмотря на благоприятные условия для развития пожара (сильный ветер, многослойная с пустотами конструкция кровли, наличие тяги со стороны нижерасположенного незастекленного этажа), пожар не получил сильного развития, так как деревянные конструкции кровли в соответствии с предписанием органов Госпожнадзора были обработаны сертифицированным огнезащитным составом ДСА-1. На этом пожаре в результате “срабатывания” ППЗО деревянные конструк-

ции были исключены из пожарной нагрузки, горение битума и рубероида было потушено компактными водяными струями. В результате материальные убытки от этого пожара оказались незначительными.

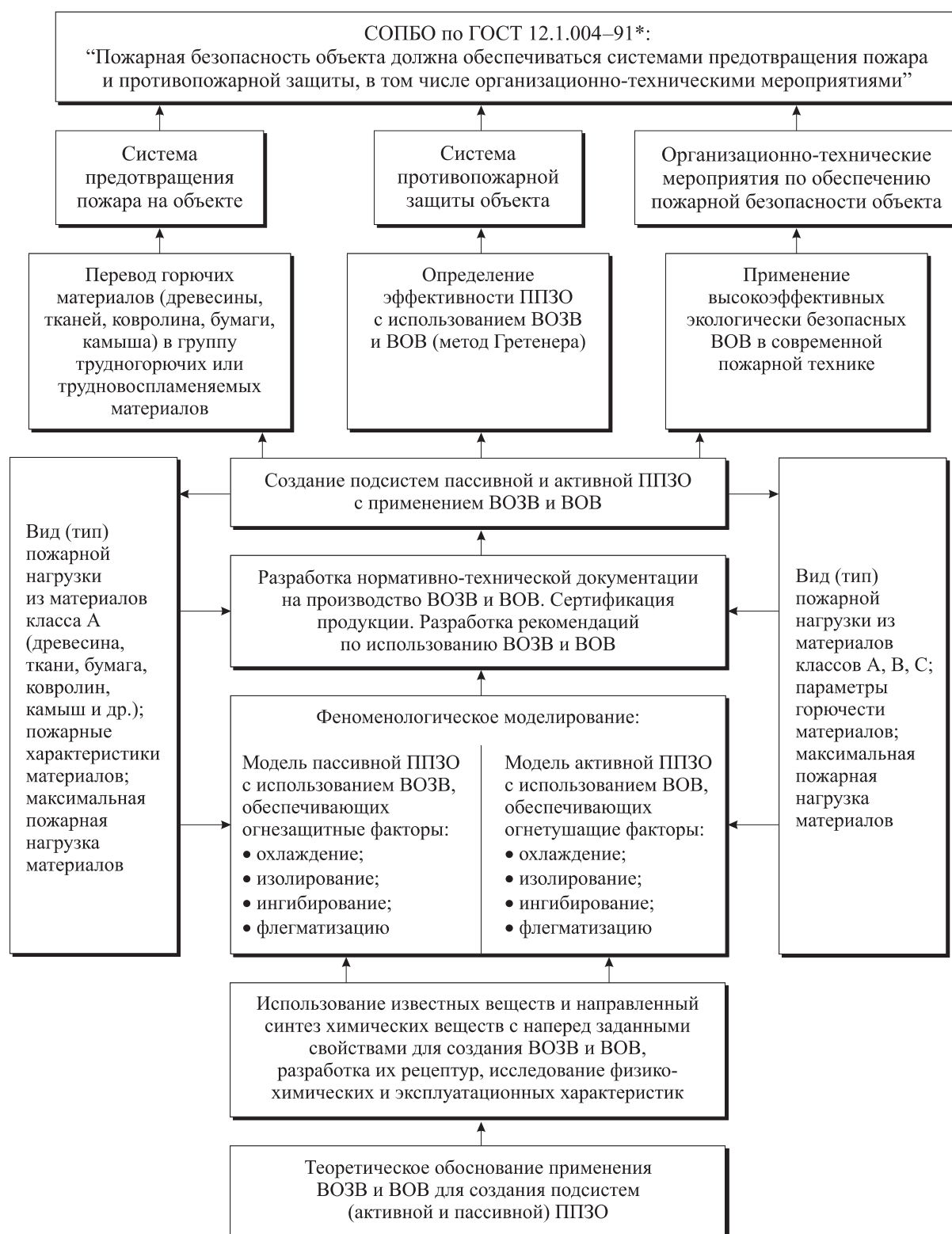
В приведенном примере значительную часть пожарной нагрузки составляли материалы класса А2, поэтому и произошел обширный пожар. Однако нередко случаи, когда в пожарной нагрузке объекта большую часть составляют огнезащищенные деревянные конструкции, а меньшую — другие горючие материалы. При загорании последних пожар может и не возникнуть в силу того, что огнезащищенная древесина не загорается. Ликвидация таких загораний ограничивается применением первичных средств пожаротушения. Как отмечено в [4], необходимо восстановить нормативное понятие “загорание”. Без учета этого вида пожара не представляется возможным оценить уровень эффективности ППЗО.

Статистические данные убеждают в том, что при создании новой подсистемы СППЗО определяющим следует считать разработку пассивной ППЗО с использованием ВОЗВ. Но не следует забывать, что потребуются эффективные ВОВ и для активной ППЗО для создания, в конечном счете, полноценной подсистемы СППЗО.

Для выполнения поставленной цели была предложена структурно-логическая схема общей методики выполнения исследований (см. рисунок). Базисом в этой структуре являются теоретические обоснования создания и применения ВОЗВ и ВОВ для построения подсистемы пассивной и активной ППЗО.

Как видно из предложенной схемы (см. рисунок), особая роль в процессе разработки указанной подсистемы отведена моделированию. Обоснована феноменологическая модель пассивной ППЗО, раскрывающая процессы пропитки древесины антипиренами. Рассмотрена физико-химическая модель процесса высаливания водорастворимых антипиренов на поверхности огнезащищенной древесины. Показана необходимость технического противодействия этому процессу путем создания специального барьера в капиллярно-пористой структуре древесины.

Теоретически обосновано использование ВОВ для активной ППЗО путем физического и феноменологического моделирования процессов взаимодействия ВОВ с пламенем в микрообъеме зоны горения. При этом показана важность тонкого распыления ВОВ и технические трудности подачи тонкораспыленных веществ непосредственно в зону пламенного горения. Предложена научно-техническая идея по преодолению в некоторой мере этих трудностей, основанная на применении синтезированных ВОВ с улучшенными (в сравнении с во-



Структурно-логическая схема общей методики выполнения исследований

дой) характеристиками: пониженным поверхностным натяжением, содержанием солевых ингибиторов пламенного горения, гелеобразующими свойствами.

Проведено моделирование глубинных процессов прекращения горения квантово-химическими расчетами ион-молекулярных и ион-радикальных ком-

плексов продуктов термического разложения ВОВ при взаимодействии с активными центрами цепных реакций горения органических веществ. При этом установлена различная избирательность фосфор- и азотсодержащих соединений (ингибиторов) к водород- и кислородсодержащим активным центрам

цепных реакций горения органических веществ. Данное наблюдение объясняет явление синергизма при ингибировании пламенного горения посредством применения ВОВ, содержащих в своей структуре одновременно и фосфор-, и азотсодержащие соединения. Этот факт необходимо учитывать при синтезе ВОВ для повышения эффективности активной ППЗО.

Идея использования известных огнебиозащитных составов [5] при разработке ВОЗВ для пассивной ППЗО не привела к желаемому результату по нескольким причинам. Во-первых, почти все составы, за исключением ББ и БС-13, содержали высокотоксичные компоненты. Во-вторых, все они подвержены процессу высаливания. В-третьих, при разработке смесевых составов не учитывались ингибирующие свойства отдельных компонентов, которые могут вести себя как антагонисты при совместном действии.

С учетом вышеприведенных теоретических исследований был разработан новый подход к созданию ВОЗВ для построения пассивной ППЗО, позволяющий решать важные задачи огнебиозащиты древесины [6]. Лабораторными и полигонными испытаниями подтверждена применимость разработанных ВОЗВ [6]. Их основные достоинства изложены ниже при рассмотрении феноменологической модели пассивной ППЗО.

Разработанные ВОЗВ не смогли решить задачу огнебиозащиты изделий из ткани, бумаги, ковровина, камыша и других материалов. Понадобился направленный синтез химического вещества с наперед заданными свойствами, которые определяются особенностями поверхностей (гидрофобность/гидрофильность, шероховатость, адгезия по отношению к различным веществам и т. п.), эксплуатации и горения указанных материалов. В результате было синтезировано новое комплексное химическое вещество на основе природных гуанидиновых оснований и смеси азот- и фосфорсодержащих соединений. Полученное вещество отвечает требованиям, предъявляемым как к ВОЗВ (ВОЗВ ФСГ-1), так и к ВОВ (ВОВ ФСГ-2) для указанных материалов. Действительно, лабораторными и полигонными испытаниями подтверждена эффективность ВОВ ФСГ-2 для активной ППЗО [7]. Детальнее его достоинства изложены при рассмотрении феноменологической модели активной ППЗО.

Феноменологическое моделирование осуществлялось с учетом свойств и характеристик пожарной нагрузки объекта как элемента подсистемы. В модели пассивной ППЗО учитывался вид (тип) пожарной нагрузки из материалов класса А (древесина, ткань, бумага, ковровин, камыш и др.) и их пожароопасные характеристики. Учитывая, что из перечисленных материалов основу пожарной нагрузки

объекта составляет древесина, в первую очередь рассмотрена феноменологическая модель процесса огнезащиты древесины с использованием ВОЗВ ДСА-1, ДСА-2 [6].

Рассмотрим процессы, которые происходят при эксплуатации огнебиозащищенной древесины. ВОЗВ ДСА-1 и ДСА-2 состоят из двух частей: водного раствора антипирена и водного раствора антисептика. Древесину вначале пропитывают водным раствором антипирена. После сушки в капиллярах и порах древесины остаются кристаллогидраты антипирена. Далее огнезащищенную древесину обрабатывают водным раствором полимерного антисептика. После сушки в капиллярах и порах поверхностного слоя древесины образуется тонкий слой полимерной пленки антисептика. Такая древесина получает огнебиозащиту.

Указанные огнебиозащитные составы существенно отличаются от традиционных солевых огнебиозащитных составов. Для примера рассмотрим огнебиозащитный состав МС, который также состоит из антипирена и антисептика. В качестве антипирена в нем использованы фосфор- и азотсодержащие соединения, а в качестве антисептика — фтористый натрий. После пропитки и последующей сушки древесины в ее капиллярах и порах остаются кристаллы (кристаллогидраты) антипирена и антисептика. В дальнейшем при положительных температурах протекают следующие процессы. При повышенной влажности воздуха молекулы воды адсорбируются капиллярами и порами поверхностного слоя древесины. С увеличением количества воды происходит растворение кристаллов солей антипирена и антисептика, а капиллярные силы выносят растворы на поверхность древесины. При снижении влажности окружающего воздуха растворы теряют испаряющуюся воду. В результате на поверхности древесины образуется слой из кристаллов солей. Иными словами, указанные физико-химические процессы приводят к высаливанию антипирена и антисептика на поверхности древесины. Со временем за счет гравитационных сил соли осыпаются, поэтому эффективность огнезащиты составом МС неуклонно снижается и через определенное время достигает неудовлетворительного уровня.

Совершенно другой механизм сохранения огнебиозащитных свойств имеет древесина, обработанная составами ДСА-1 (ДСА-2). При положительной температуре и повышенной влажности воздуха молекулы воды адсорбируются на поверхности древесины, но капиллярные силы пористого материала (древесины) не могут проявить себя, так как им препятствует барьер в виде полимерной пленки. В дальнейшем при понижении влажности происходит десорбция молекул воды в атмосферу. Процесс высаливания визуально не наблюдается более 10 лет.

Полимерная пленка одновременно служит барьером для диффузии молекул кислорода в капилляры и поры при термическом воздействии на огнебиозащищенную древесину. В табл. 1 приведены результаты газохроматографического анализа продуктов термической деструкции образцов сосновой древесины.

Как видно из табл. 1, смеси продуктов термической деструкции древесины сильно отличаются, особенно по кислородсодержащим компонентам. В продуктах деструкции древесины, обработанной составом ДСА-2, отсутствует молекулярный кислород, а содержание СО на 40 % меньше, чем в продуктах деструкции древесины, обработанной составом МС. Приведенные данные подтверждают тот факт, что процесс термической деструкции древесины, обработанной огнебиозащитным составом ДСА-2, протекает с большим дефицитом молекул кислорода.

Специально проведенными физико-химическими исследованиями (термическим анализом, спектральным оптическим анализом, газовой хроматографией и др.) было установлено, что состав ДСА-2 проявляет охлаждающий и ингибирующий эффекты. Показано, что максимальный синергетический эффект огнетушащего действия достигается при соотношении атомов фосфора и азота в составе антипирена 2 : 1. Продукты термической деструкции расплава антипирена флегматизируют газовые продукты термической деструкции древесины.

Закономерности, выявленные во время теоретических и экспериментальных исследований, позволяют построить феноменологическую модель огнезащиты древесины с применением ВОЗВ ДСА-1 (ДСА-2). В процессе обработки древесины этими составами образуется защитный слой, который морфологически состоит из двух частей. Нижняя, большая его часть (капилляры и поры) в зависимости от влажности окружающей среды заполнена кристаллами или кристаллогидратами смеси солей антипиренов. Верхняя часть представляет собой полимерную пленку, накрывающую капилляры и поры. Полимерная пленка выполняет роль регулятора влажности, служит барьером для высаливания антипиренов на поверхности древесины, а также способствует повышению их концентрации в поверхностном слое древесины и служит барьером для проникновения дополнительного количества кислорода в этот слой на начальной стадии теплового воздействия на огнезащищенную древесину. Пиролиз древесины начинается при пониженном содержании кислорода в капиллярах и порах.

При температуре выше 175 °С, с одной стороны, начинаются цепные реакции окисления метана, этана и других органических молекул, а с другой — термическое разложение антипиренов. Между актив-

Таблица 1. Качественный и количественный состав газоподобных продуктов термической деструкции сосновой древесины, не обработанной и обработанной различными составами

Вещество	Содержание веществ, %, в летучих продуктах деструкции древесины			
	необработанной	обработанной		
		составом МС	только антипиреном из состава ДСА-2	антипиреном и антисептиком из состава ДСА-2
СО	39,08	18	15,8	11,8
СО ₂	51,93	2,1	Не выявлено	Не выявлено
СН ₄	6,05	1,2	0,54	То же
С ₂ Н ₄ + С ₂ Н ₆	0,45	Не выявлено	Не выявлено	“
С ₃ Н ₈	0,19	То же	То же	“
С ₃ Н ₆	0,32	“	“	“
Н ₂	0,73	0,56	0,44	0,9
О ₂	0,26	0,13	Не выявлено	Не выявлено
Н ₂	0,99	78,01	83,22	88,11

ными центрами цепных реакций и продуктами термического разложения образуются ион-радикальные (ион-молекулярные) комплексы, приводящие к гомогенному или гетерогенному ингибированию, флегматизации газообразных веществ в элементарном объеме капилляров и пор.

В температурном диапазоне 190–250 °С происходит ускоренная деструкция древесины, что приводит к образованию модифицированного антипиренами слоя кокса. Этот слой выполняет функцию термического барьера, препятствующего прогреванию глубинных слоев древесины, не насыщенных антипиренами. Необходимо отметить, что на поверхности модифицированного кокса не образуется жар, т. е. отсутствует конденсированное горение кокса, что для обычной (незащищенной) древесины является причиной ее повторного возгорания. При выходе на поверхность газовые продукты деструкции характеризуются достаточной флегматизацией, пламенное горение не наблюдается.

Наибольшая интенсивность деструкции древесины происходит в диапазоне температур 230–350 °С. На поверхности модифицированного кокса появляются трещины, глубина которых с повышением температуры увеличивается, достигая слоев незащищенной древесины. По трещинам усиливается теплопередача к внутренним слоям древесины, что ускоряет процесс ее деструкции. Концентрация горючих газов повышается, и газовая среда над слоем кокса постепенно переходит из области нижнего концент-

рационного предела в область горения. При температуре 400 °С полимерная пленка антисептика превращается в кокс.

В случаях, когда источником зажигания является пламя, при 410 °С содержание горючих газов достигает концентрационного предела горения, при котором наблюдается устойчивое горение. Иными словами, данное значение температуры является температурой воспламенения древесины, обработанной огнезащитным составом ДСА-2. Следует отметить, что при этом на поверхности модифицированного кокса не образуется жар, который мог бы обеспечить равновесную фазу горения. При отстранении пламени горение газов прекращается. Для образования жара на поверхности кокса необходимо определенное время воздействия источника зажигания в виде пламени или увеличение температуры кокса выше температуры самовоспламенения огнезащитной древесины, т. е. до 490–560 °С. Как отмечалось в [6], время воспламенения древесины, защищенной ДСА-2, значительно превышает 12 мин (нормативное время прибытия подразделений пожарной охраны для сельской местности).

Феноменологическая модель огнезащиты древесины, тканей, бумаги, ковровых изделий с использованием ВОЗВ ФСГ-1 (ФСГ-2) незначительно отличается от рассмотренной выше. В этом случае процесс высаливания также отсутствует. Барьером, препятствующим проникновению молекулярного кислорода к огнезащитным материалам на начальной стадии пожара, является гидрогель, который при дальнейшем термическом воздействии превращается в пленку полимерного комплексного химического вещества.

Теоретические и экспериментальные исследования применимости ВОВ ФСГ-2 для активной противопожарной защиты объекта с пожарной нагрузкой из материалов классов А и В [7] позволяют построить феноменологическую модель этого процесса. Рассмотрим более сложную модель тушения пожара класса А, в которой происходит как пламенное, так и конденсированное горение. Данное ВОВ имеет специфические реологические свойства, которые позволяют при использовании обычных противопожарных устройств (огнетушителей, распылителей) получать распыленную струю с меньшим размером капель по сравнению с обычной водой. Когда капли попадают в факел пламени, происходит тепломассообмен между ВОВ и пламенем, при этом выпаривание воды приводит к охлаждению объема пламени, определяемого размером капли. В процессе дальнейшего выпаривания воды капли ВОВ постепенно преобразуются в частички геля, а затем — в частички расплава полимера. В микрообъеме пламени будет происходить охлаждение за счет термических пре-

образований полимерного вещества. Рассматриваемое вещество является довольно термостабильным, что объясняется большим количеством эндотермических эффектов, которые наблюдаются в диапазонах температур 60–70; 100–140; 145–200; 220–250 и 310–380 °С. Термическое разложение макромолекул начинается по достижении 300 °С. При температуре свыше 380 °С твердое вещество термически разлагается. Продукты разложения взаимодействуют с активными центрами цепных реакций пламенного горения и образуют ион-молекулярные (ион-радикальные) комплексы, что приводит к гомогенному или гетерогенному ингибированию цепных реакций.

Более крупные капли, которые превратились в гидрогель, но не успели высохнуть до твердых частиц, достигают поверхности разогретой древесины. Вначале образуется пленка из гидрогеля, которая впоследствии превращается в расплав полимера. За счет проявления эндотермических эффектов происходит охлаждение поверхности древесины. Сама пленка плавится с выделением инертных газов (N_2 , C_2 и др.), флегматизирующих зону окислительных реакций. Пленка также образует барьер, препятствующий доступу молекул кислорода в капилляры и поры, где происходит термическая деструкция молекул древесины (см. табл. 1). Следует отметить высокую адгезию гидрогеля ВОВ ФСГ-2 к поверхности древесины и его способность удерживаться на вертикально расположенных поверхностях деревянных конструкций.

Реализация рассмотренной феноменологической модели ВОВ приводит к повышению огнетушащей способности воды в 4,55 раза при одних и тех же условиях подачи ВОВ на тушение очагов пожара класса А [7].

ВОЗВ и ВОВ относятся к продуктам, подлежащим обязательной сертификации на Украине, поэтому для их производства разработана соответствующая нормативно-техническая документация. Помимо этого, регулярно проводятся сертификационные испытания продукции; разработаны инструкции и регламенты по использованию ВОЗВ и ВОВ. Проведенные исследования по применению ВОЗВ для пассивной ППЗО [6] и применению ВОВ для активной ППЗО [7] позволяют объединить их в единую подсистему СППЗО. На объектах (здания, сооружения, помещения, технологические установки, изделия, их элементы и т. п.) [2] при наличии пожарной нагрузки в виде деревянных конструкций, изделий из ткани, тканых покрытий, бумаги, камыша целесообразно реализовать пассивную ППЗО с использованием ВОЗВ ДСА-1, ДСА-2, ФСГ-1. Качественная обработка материалов пожарной нагрузки переводит их в группу трудногорючих или трудновоспламеняемых, а при горении других ма-

териалов и веществ пожарная огнезащищенная нагрузка будет устойчива к возгоранию на весь период на начальной стадии развития пожара (более 12 мин) [6]. Это время позволит мобилизовать средства активной ППЗО — первичные средства пожаротушения (огнетушители), установки пожаротушения, системы пожаротушения, в которых используется ВОВ ФСГ-2 (см. рисунок).

Эффективность предложенной подсистемы СППЗО оценивалась расчетом уровня пожарной опасности подкупольного пространства церкви по методу Гретенера [8]. Расчет проводили по четырем вариантам. В первом варианте рассчитывался уровень пожароопасности U без применения СППЗО. В результате был получен неудовлетворительный уровень пожарной опасности ($U = 2,8 \div 1$). Во втором варианте расчет проводился с учетом применения только пассивной ППЗО и также был получен неудовлетворительный уровень пожарной опасности

($U = 1,5 \div 1$). В третьем варианте расчет выполнялся с учетом применения только активной ППЗО. В этом случае был получен удовлетворительный уровень пожарной опасности ($U = 0,4 \div 1$). Но наилучший результат был достигнут в случае комплексного использования средств пассивной и активной ППЗО: расчетный уровень пожарной опасности составил 0,2.

Таким образом, на основе системного подхода и структурно-логической схемы общей методики выполнения исследований была построена подсистема пассивной и активной противопожарной защиты объекта с использованием ВОЗВ и ВОВ. С ее внедрением в СППЗО уровень пожарной опасности объекта может быть снижен в 14 раз. Данная подсистема внесет существенный вклад как в совершенствование системы предупреждения пожара на объекте, так и в совершенствование системы пожарной безопасности объекта в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О статистике пожаров и о пожарных рисках // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 4. — С. 40–48.
2. ГОСТ 12.1.004–91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — Введ. 01.07.92 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. — 91 с.
3. Апанович В. Н., Антонов А. В., Жартовский В. М. Подавление углеводородных пламен бинарными порошковыми смесями // Средства порошкового пожаротушения: сб. науч. тр. — М. : ВНИИПО, 1989. — С. 13–19.
4. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 42–48.
5. ГОСТ 28815–96. Межгосударственный стандарт. Растворы водные защитных средств для древесины. Технические условия. — Введ. 01.01.97 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. — 91 с.
6. Жартовский В. М., Нижник В. В., Жартовский С. В., Добростан А. В. Пассивная противопожарная защита деревянных конструкций куполов церквей с применением пропиточных составов // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 3. — С. 31–37.
7. Жартовский С. В., Нижник В. В., Уханский Р. В. Активная противопожарная защита деревянных конструкций куполов церквей с применением водных огнетушащих веществ // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 65–71.
8. Осипова М. Н. Методическое пособие по оценке пожароопасности помещений различного назначения методом Гретенера. — М. : НОУ “Такир”, 1998. — 68 с.

Материал поступил в редакцию 3 апреля 2013 г.

English

A SYSTEMATIC APPROACH TO FIRE PROTECTION OF OBJECTS USING WATER FIRE RETARDANT AND FIRE EXTINGUISHING MEANS

ZHARTOVSKIY S. V., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Ukrainian Scientific-Research Institute of Civil Protection, Ministry of Emergencies of Ukraine (Rybalskaya St., 18, Kiev, 01011, Ukraine; e-mail address: zhart20@ukr.net)

ABSTRACT

A system approach is seen as a methodology of research to solve complex problems. Fire safety system of object (FSSO) is a complex system. A system approach was applied to the construction of its subsystem — fire protection facility system of object (FPFSO).

To facilitate consideration of FPFSSO the technical terms are used: passive and active FPFO. Passive FPFO determines using the methods of protection that are made in advance and do not require additional mobilization during fire fighting. Active FPFO determines using methods suitable at any time to be mobilized to fight fire. Passive and active FPFO are achieved through technical means and activities.

The proposed subsystem of FPFSSO is based on the application of material, which has a number of properties that can be implemented as a fire retardant and fire extinguishing factors. Thus the new subsystem has an universal material for fire safety — water. Water with different target added can form new water fire retardant means (WFRM) and new water fire extinguishing means (WFEM).

The aim of this work is to create a subsystem of passive and active fire protection of object using WFRM and WFEM. To fulfill this goal the structural logic common methodology of research performing is proposed. The basis of this structure is a theoretical study of the establishment and the use of WFRM and WFEM.

A special role in the development of this subsystem is assigned for modeling. Phenomenological model of passive FPFO revealing the retardant impregnation process is grounded. The physico-chemical model of fire retardant salt migration on wood surface is discussed. The necessity of technical counter of this process by creating a special barrier in the capillary-porous structure of the wood is discussed too.

It is theoretically justified the use of WFEM for active FPFO through physical and phenomenological modeling of the interaction of WFEM with flame in a microvolume of fire area. At the same time it is also justified the importance of fine spray of WFEM and technical difficulties feeding WFEM mist directly into the zone of flaming. It is proposed the idea to overcome these difficulties, based on the application of WFEM synthesized with improved (compared to water) properties of low surface tension, with the content of salt inhibitors flaming, with gel-forming properties.

Using a systematic approach and implementing structural logic common methodology of research performing it is built a subsystem of passive and active fire protection of object using WFRM and WFEM. Since its introduction in FPFSSO the level of fire danger of object can be reduced by 14 times.

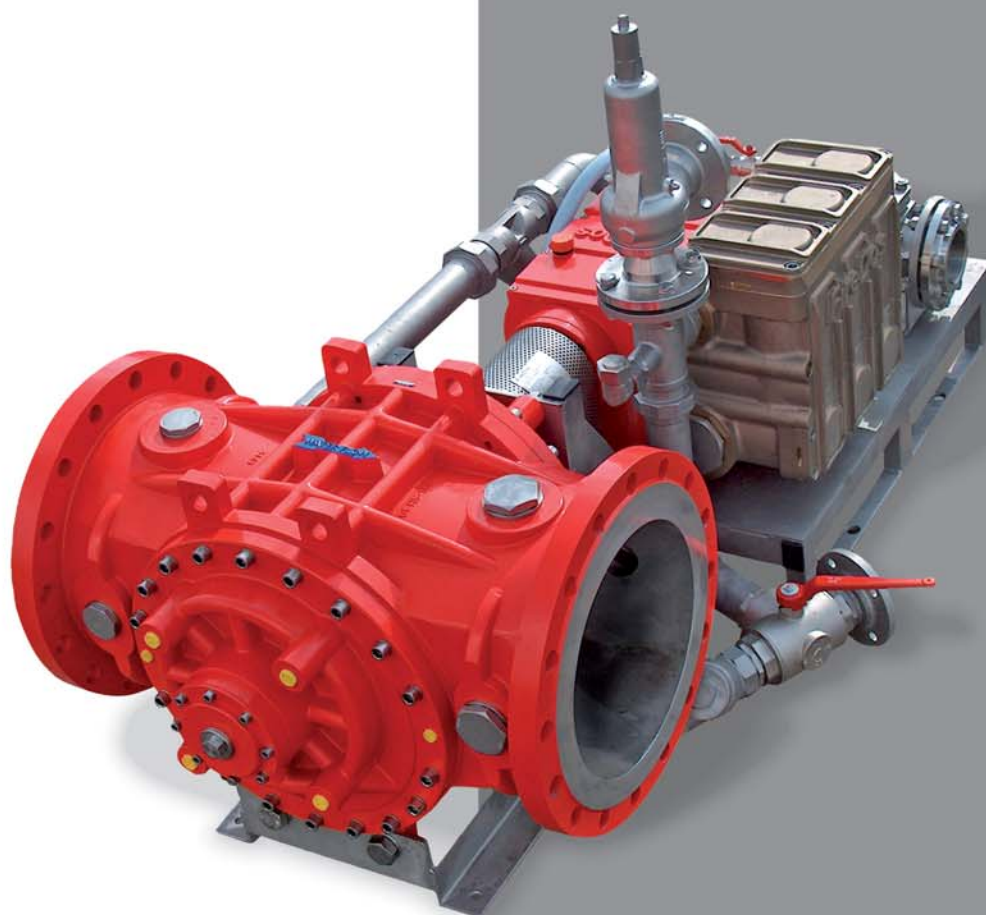
Keywords: a systematic approach; fire safety system of object.

REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. O statistike pozharov i o pozharnykh riskakh [About fire statistics and fire risks]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 40–48.
2. *State Standard 12.1.004–91*. Occupational safety standards system. Fire safety. General requirements*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2002. 91 p. (in Russian).
3. Apanovich V. N., Antonov A. V., Zhartovskiy V. M. Podavleniye uglevodorodnykh plamen binarnymi poroshkovymi smesnyami [Suppression of hydrocarbon flames by binary powder mixtures]. *Sredstva poroshkovogo pozharotusheniya: sbornik nauchnykh trudov* [Means of powder fire extinguishing. Collection of scientific papers]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1989, pp. 13–19.
4. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. O normirovaniy vremeni pribytiya pozharnykh podrazdeleniy k mestu pozhara [About regulations of response time of fire services]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 42–48.
5. *International Standard 28815–96. Aqueous solutions of wood protective means. Specifications*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 2002. 91 p. (in Russian).
6. Zhartovskiy V. M., Nizhnik V. V., Zhartovskiy S. V., Dobrostan A. V. Passivnaya protivopozharnaya zashchita derevyannykh konstruktsiy kupolov tserkvey s primeneniyyem propitochnykh sostavov [Passive fire protection of wooden constructions of churches domes with application of impregnating compounds]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 3, pp. 31–37.
7. Zhartovskiy S. V., Nizhnik V. V., Ukhanskiy R. V. Aktivnaya protivopozharnaya zashchita derevyannykh konstruktsiy kupolov tserkvey s primeneniyyem vodnykh ognetyushashchikh veshchestv [Active fire protection of wooden constructions of churches domes with application of water fire extinguishing substances]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 65–71.
8. Osipova M. N. *Metodicheskoye posobiye po otsenke pozharoopasnosti pomeshcheniy razlichnogo naznacheniya metodom Gretenera* [Toolkit for fire hazard assessing of different rooms by Gretener method]. Moscow, Takir Publ., 1998. 68 p.



СИСТЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ



РЕКЛАМА



ООО НПК «Гефест» — официальный представитель
FireDos® GmbH в России
Россия, 121108, г. Москва,
ул. Ивана Франко, д. 4, корп. 10
Тел./факс: (495) 925-51-31
E-mail: info@gefestnpk.ru; www.gefestnpk.ru



www.ognebioz.ru

Издательство «ПОЖНАУКА»

объявляет об открытии проекта

Средства огне- и биозащиты

Официальная статистика утверждает: ежегодно в России происходит 240—260 тыс. пожаров, в результате которых уничтожается до 70 тыс. строений, погибает до 20 тыс. человек.

Ущерб от пожара не ограничивается стоимостью выгоревших материалов. Воздействию огня и высокой температуры подвергаются также строительные конструкции, из которых выполнено здание. Температура внутри горящих сооружений достигает 1100—1200 °С. При такой температуре горят конструкции из дерева и пластмасс, теряют прочность металлические конструкции, разрушаются конструкции из монолитного или сборного железобетона. При обрушении несущих конструкций ущерб от пожара достигает максимальных размеров.

В связи с этим возникает закономерный вопрос, как свести потери к минимуму, а лучше — предупредить развитие пожара.

Одним из эффективных способов сокращения ущерба от пожара является огнезащита строительных конструкций, обеспечивающая снижение пожарной опасности и повышение огнестойкости конструкций из горючих и негорючих материалов.

Однако при выборе огнезащитных средств возникает проблема: как разобраться во всем многообразии продукции, представленной на рынке? Конечно же каждый производитель имеет свой сайт, выпускает каталоги, где подробно описывает свойства и особенности применения каждого состава и средства. Но что делать, если нужно сравнить несколько позиций разных производителей?

Сайт www.ognebioz.ru представляет собой электронный справочник, аккумулирующий огромный объем информации о средствах огне- и биозащиты, производителях, поставщиках сырья и оборудования, нормативных документах и многом другом. Сайт является электронной версией не раз издававшегося справочника “Средства огне- и биозащиты”.

Наш сайт предназначен для тех, кто хочет защитить свое имущество, знать нормативные требования к средствам огне- и биозащиты и получить советы квалифицированных специалистов по их выбору.

**Приглашаем всех, кого заинтересует наш сайт,
к долгосрочному и успешному сотрудничеству!**

Скажи пламени “Стоп!”

По вопросам размещения информации
обращаться по телефону: +7 (495) 228-09-03
mail@firepress.ru

www.ognebioz.ru

[О проекте](#)

[Средства ОБЗ](#)

[Производители](#)

[Средства
для нанесения](#)

[Контакты](#)

Информационный портал **Средства огне- и биозащиты**

Все об огне- и биозащите
древесины, металла,
тканей и кабельных изделий



*Капля сегодня —
уверенность завтра*

- Подробное описание каждого состава и его особенностей
- Координаты производителей
- Координаты поставщиков сырья и оборудования
- Нормативные требования

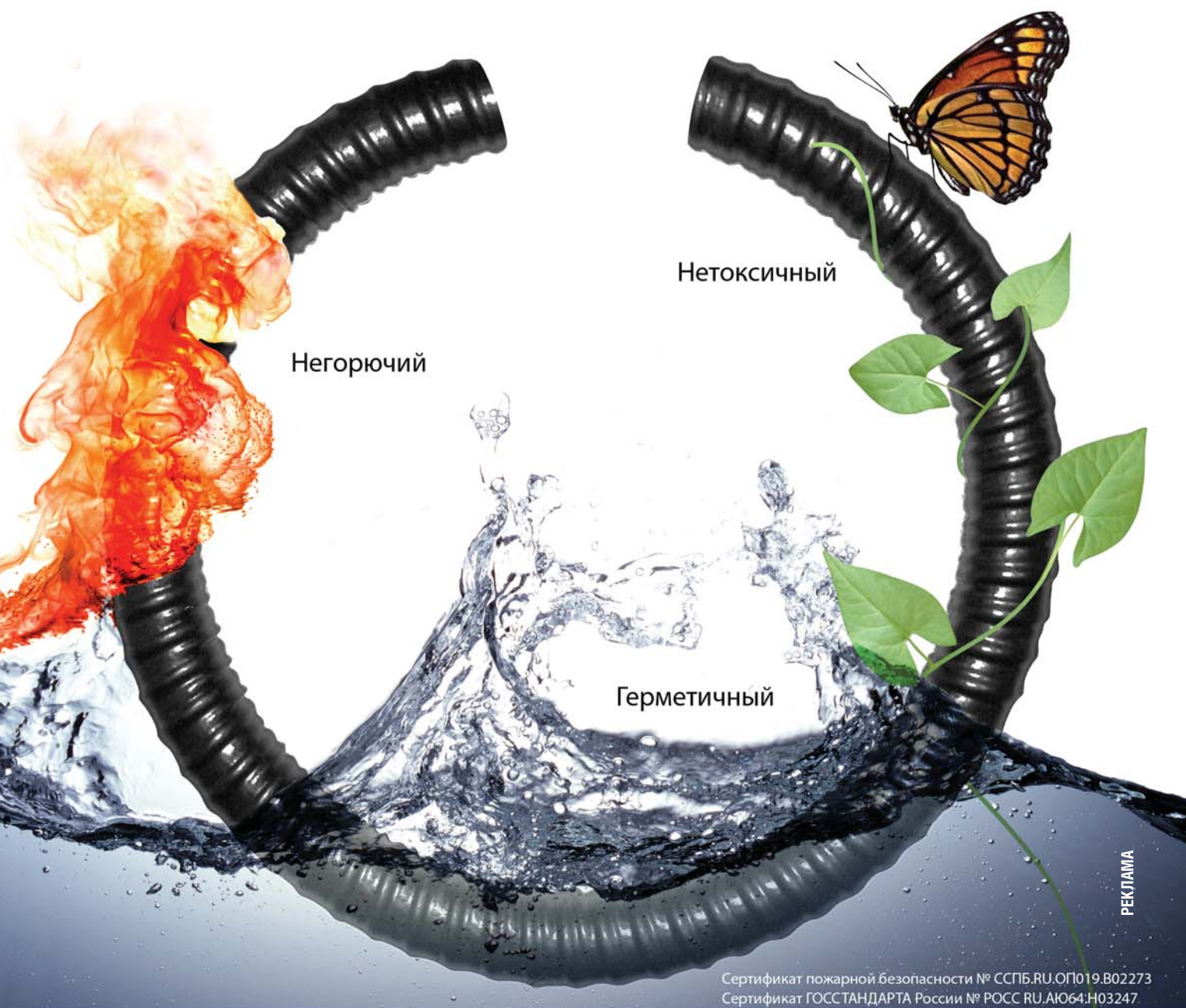
ognebioz.ru

Тел.: (495) 228-09-03





Металлополимерный рукав МЕТАЛАНГ НГ-LS HF



Сертификат пожарной безопасности № ССПБ.RU.ОП019.В02273
Сертификат ГОССТАНДАРТА России № РОСС RU.АЮ64.Н03247

Металлорукав МЕТАЛАНГ НГ-LS HF
с защитной полимерной оболочкой

- не распространяющий горение
- малодымный
- нетоксичный
- герметичный
- гибкий
- увеличенная прочность на разрыв
- диапазон температур – от -50 до +70 °C
- степень защиты IP 65
- сертифицирован

Сферы применения:

- на объектах с повышенной пожароопасностью: тоннели, мосты, метро, жилые здания, склады, заводы, суда, объекты нефтегазового и энергетического комплексов и другие
- прокладка проводов во влажных помещениях
- защита кабеля при скрытой и открытой прокладке
- в системах кондиционирования и обогрева
- в подъемно-транспортном оборудовании
- для транспортировки порошкообразных и сыпучих веществ

8-800-200-4411 (бесплатный звонок из любой точки России)

www.metalang.ru

А. Д. ГОЛИКОВ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, заместитель начальника по научной работе СПбФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35)

Е. Ю. ЧЕРКАСОВ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник СПбФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, 193079, г. Санкт-Петербург, Октябрьская наб., 35; e-mail: cherkasovspb@inbox.ru)

УДК 614.841.45

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОЖАРОВ ПО ПУСТОТАМ В ЗДАНИЯХ (литературный обзор материалов реферативного журнала серии "Пожарная безопасность" с 1982 по 2012 гг.)

Проведен аналитический обзор статей по материалам реферативного журнала "Пожарная безопасность" с 1982 по 2012 гг., посвященных скрытому распространению пожара в пустотах зданий. Показано, что скрытое распространение пожара приводит к более позднему его обнаружению, большим материальным потерям и человеческим жертвам. Из представленных материалов следует, что скрытое распространение пожара по пустотам конструкций возможно как в старинных, так и в новых зданиях. Показано также, что среди тенденций развития нормативных требований развитых стран (Великобритании, США) наблюдается создание противопожарных требований к историческим зданиям.

Ключевые слова: пожарная безопасность; распространение пожара; здания; пустоты.

Скрытое распространение пожара приводит к более позднему его обнаружению, большим материальным потерям и человеческим жертвам. Кроме того, при обнаружении уже развившегося пожара одновременно в нескольких местах можно сделать вывод о поджоге, в результате чего могут пострадать невиновные люди.

Так, например, в школьном курсе истории России при изучении реформ царя Александра II упоминается судебная реформа — введение суда присяжных. В качестве успеха реформы приводится судебное разбирательство по причинам пожара Овсянниковской мельницы 2 февраля 1875 г. В результате был признан виновным и осужден в поджоге купец 1-й гильдии. Среди пожарных существовала и другая точка зрения, но, возможно, она не была доведена достаточно убедительно до сведения присяжных заседателей. Об этом написано брандмайором К. Баумом [1] более чем через 40 лет после этих событий, когда страсти уже улеглись. Ввиду редкости книги ниже приводятся курсивом отрывки из нее.

На Измайловском проспекте, на правой его стороне, по направлению к Варшавскому вокзалу, на углу Обводного канала, высилось огромное 4-хэтажное здание, где во 2-ой половине 19-го столетия помещалась паровая вальцевая мукомольная мельница, которую в начале 1870-х годов арендовал крупный общественный деятель этого времени, известный благотворитель и коммерсант, обладавший миллионным состоянием, 1-ой гильдии купец и коммерции советник Степан Тарасович Овсянников...

В зале суда фигурировала специально изготовленная разборная деревянная модель здания мельницы, по которой давали свои показания свидетели. В числе последних находились: бранд-майор Гранфельд, брандмейстеры: Нарвской части — Панасевич, Коломенской — Иконников, Ал. Невской — Моторин и Рождественской — Новиков, несколько пожарных, чины полиции, служащие мельницы, представители военного ведомства и много других, причастных к делу лиц. Из сопоставления их показаний представлялось весьма вероятным, что на мельнице, видимо умышленно, были повреждены пожарная сигнализация и водопровод и, чтобы замедлить помощь городских пожарных, закрыты ворота и, кроме того, с несомненностью было констатировано, что огонь возник одновременно в трех разных местах...

Представителем гражданского истца — владельца мельницы Кокорева выступал знаменитый юрист, профессор уголовного права Спасович, в числе защитников находились известные присяжные поверенные Потехин и Соколовский, произнесшие блестящие речи. Присяжные заседатели признали факт поджога названными тремя обвиняемыми доказанным...

По мнению участников тушения этого пожара, с которыми (автору книги [1] — брандмайору К. Бауму. — Прим. авт.) приходилось беседовать по этому поводу, брандмейстер В. И. Жидейкин, И. В. Котович, П. А. Русеев, В. В. Моторин, Ф. А. Смольников и некоторые старики — ветераны-пожарные находили, что пожар Овсянниковской мельницы мог

произойти и не от поджога и что во всяком случае никаких прямых улик против троих осужденных не было. Одновременное появление огня в 3-х разных местах они объясняли тем, что он передавался из подвала в этажи через многочисленные люки, элеваторы, вешелочные и вытяжные трубы, исследовать же очаги огня по прибытии на место пожара, уже сильно запущенного, пожарные, конечно, не могли.

Так закончился этот процесс Овсянниковской мельницы, при котором не исключалась возможность, что все трое привлеченных по обвинению в ее поджоге явились жертвами судебной ошибки и были лишены всех прав и сосланы на каторгу, будучи невиновными.

Овсянников, тот прежний миллионер-благотворитель, построивший на свои средства несколько церквей и, между прочим, храм во имя св. Бориса и Глеба на Калашиниковской набережной, владевший на Песках множеством громадных домов, хлебных амбаров, почти всем мытным двором, сквер у которого до сих пор носит его имя, тот, которому принадлежала целая флотилия буксиров и хлебных барж, привозивших из Рыбинска на его мельницу зерно, который содержал несколько богаделен и детских приютов и помогал всем обращающимся к нему за помощью, умер от истощения, в нищете...

Остается надеяться, что участвовавшие в судебном процессе лица искренне заблуждались.

Противопожарные мероприятия, связанные с наличием пустот в деревянных перекрытиях и перегородках в зданиях постройки конца 40-х – начала 50-х годов, были рассмотрены в классическом учебнике по пожарной профилактике [2].

Для перекрытий было рекомендовано:

1) уменьшение количества горючих веществ, которое может быть достигнуто заменой сгораемого наката на несгораемый или трудносгораемый. Так, например, вместо наката из деревянных пластин предлагался накат из шлакобетонных и гипсолитовых плит;

2) разделение воздушных прослоек на отсеки диафрагмами из шлаковой отсыпки, досок и т. п. Диафрагмы не должны препятствовать осушающему воздухообмену в вентилируемых полостях конструкций;

3) при устройстве пустотных перегородок разделение пустот диафрагмами на отдельные отсеки площадью не более 2 м² и исключение сообщения с пустотами перекрытий.

С того времени что-то изменилось, что-то осталось по-прежнему: с одной стороны, в зданиях появились новые пустотелые объекты — кабельные тоннели, подвесные потолки и навесные фасады,

а с другой — сохранились здания, построенные задолго до появления этих рекомендаций.

К сожалению, тема скрытого распространения пламени остается актуальной и в настоящее время. Примером может служить пожар в пятиэтажном здании ГУВД Самарской области 10 февраля 1999 г., при котором погибло 57 чел. [3–6]; пожар в ночном клубе “Хромая лошадь” 4 декабря 2009 г., при котором погибло 156 чел. [7, 8].

Здание ГУВД [3], построенное в 1936 г., имело междуэтажные и чердачные перекрытия из дерева и пустоты, пронизывающие постройку по горизонтали и вертикали. Установлено место возникновения пожара — кабинет № 75 на втором этаже. Пожарная сигнализация там была исправна, но не сработала. Пытались потушить огонь своими силами, но безуспешно. Очевидно, что дальнейшее развитие пожара происходило скрытно: огонь ушел в пустоты и пошел гулять внутри стен и перегородок, сигнализируя о беде лишь задымлением. Как показало расследование, с момента начала пожара до появления пламенного горения за пределами очага прошло не менее 35 мин, а люди спокойно сидели в кабинетах, гадая, что это за странное шуршание за стенами [3]. Поскольку выход пожара наружу произошел сразу в нескольких местах, при расследовании не исключалась и версия поджога [5]. Возникают ассоциации с пожаром на Овсянниковской мельнице, правда жертвы там были только судебные.

Ночной клуб “Хромая лошадь” располагался на 1-м этаже в помещениях бывшего магазина в здании современной постройки. В работе [6] начало пожара описано следующим образом:

Главный подсудимый по делу Анатолий Зак рассказал, как запомнил события той ночи. В тот день, рассказал Анатолий Зак, он находился в кафе с 16 часов. Был совершенно трезв.

— Перед входом у нас висела гирлянда в виде сетки, — вспомнил бизнесмен. — И вдруг в час ночи я увидел точно такую же на нашем потолке. Огоньки мерцали, и зрелище это, честно сказать, даже завораживало. Из нее вдруг заструился белый дым. Но я еще не придавал этому значения. Думал, какие-то спецэффекты. На танцполе шли танцы... Но из-под дыма полыхнуло пламя, и ведущий Влад Конопаткин поднял руку и произнес: “Мы горим!”

Соседи Зака по столику были уже “под градусом”, и на них известие не оказало никакого эффекта... Ужас начался, когда повалил черный густой дым...

В [7] приведена цитата из доклада генерального прокурора России Ю. Чайки Президенту страны Д. Медведеву: “Как показал осмотр места происшествия, в центре зала стояли столики — на них даже не обуглились салфетки. Люди теряли сознание и умирали оттого, что дышали ядовитым возду-

хом". За подвесным потолком находились горючие звукоизоляционные плиты из пенополистирола. Предположительно, при горении пенополистирола при недостатке кислорода происходило выделение фосгена — боевого отравляющего газа.

С целью уточнения состояния проблемы пожаров в пустотах зданий в данной работе представлен результат обзора публикаций за период с 1982 по 2012 гг. по реферативному журналу "Пожарная безопасность" [8–15].

В статье [8] показано, что пустоты встречаются не только в зданиях старой постройки с перекрытиями по деревянным балкам, но и в современных многоэтажных зданиях, выполненных из бетона. Например, крупный пожар произошел в 54-этажном здании в Нью-Йорке, расположенном в New York Plaza. Внешняя стена здания была построена таким образом, что между декоративными внешними элементами и несущей конструкцией была образована решетка из горизонтальных и вертикальных каналов. Эти пространства пронизывали все здание по высоте и ширине. Кроме того, они сообщались с расположенными выше подвесных потолков горизонтальными вентиляционными каналами на всех этажах. Первоначально горение, как полагают, возникло в воздуховоде над подвесным потолком, в котором были проложены воздухопроводы и электрокабели. Отверстия в наружных стенах, к которым выходили эти каналы, были теплоизолированы листами пенополистирола с декоративным покрытием из тонкого алюминиевого листа. В процессе развития горения в очаге пенополистирол быстро выгорел, покрытие разрушилось, что обеспечило приток свежего воздуха извне. Горение распространилось в пространстве под потолком по горизонтали, а также вверх, к теплоизоляции вышерасположенного отверстия следующего междуэтажного перекрытия, и т. д. В результате был причинен значительный материальный ущерб, погибли два человека.

В марте 1987 г. в Лондоне произошел пожар в одном из зданий Crown Estates. Пожар, охвативший кухню на первом этаже, по прибытии пожарных был быстро потушен. В дальнейшем дым начал просачиваться из центрального воздушного отопления на верхние этажи. Пока пожарные исследовали обстановку, на первом и третьем этажах из стен вырвался огонь. Последующее расследование показало существование пустот между наружной стенкой передних и внутренних перегородок. Эти пустоты были в длину примерно 6 м и в глубину до 300 мм. Они простирались на всю высоту здания до чердака, и в них были расположены на разных этажах различные коммуникации (трубы, кабели, центральные каналы отопления и т. д., т. е. все, кроме огнезадерживающих конструкций). Пустоты были за-

маскированы и отделены от жилых помещений посредством монтажа на деревянных стойках штукатурки по проволоочной сетке, или гипсокартонных панелей, или фанерных панелей (как на кухне). Воздуховод системы центрального отопления имел выходы на этажах из стеновых пустот в пустоты потолков и полов. Огонь на кухне нарушил фиброкартонный подвесной потолок и вошел в пустоту на этом уровне, горение прошло незамеченным в связанные с крышей пустоты выше четвертого этажа и затем спустился вниз, в жилые помещения. Огонь попал в воздухопроводы центрального отопления, которые начали разрушаться в нескольких точках [8].

В октябре 1987 г. в северной части Лондона произошел пожар, который привел к разрушению основных элементов здания. Относительно небольшой пожар в старом деревянном каркасе здания из трех этажей и подвала, построенного в 1870 г., распространился незамеченным через пустоты стен и пола и охватил все здание в течение 30 мин после прибытия бригады. Обрушение внутренних перекрытий произошло через 45 мин после их прибытия. К счастью, обошлось без травм персонала [8].

Пожарные Лондонского Вест-Энда, столкнувшись с "типичным" подвальным пожаром в кирпичном многоэтажном здании с деревянными балками, быстро его потушили. Тем не менее последующая операция проветривания вызвала увеличение задымления верхних этажей. Во внимание не было принято вовлечение вентиляции здания системы пустот стен и пола. Подвальный этаж вентилировался первым, что создало тягу в вышележащие пустоты и задымление верхних этажей. В результате проветривания огонь показался на нескольких этажах, а затем загорелось все здание [8].

Проблемы, с которыми столкнулись пожарные команды графства Суррей во время тушения пожара в пустотах в особняке XVIII века, в настоящее время рассматриваются как учебные. Пожар начался на первом этаже и получил значительное развитие еще до прибытия пожарных. Несмотря на успешность начальных действий пожарных, огонь незаметно проник в пустоты стен и пола. На протяжении многих лет здание претерпело ряд изменений как внутри, так и снаружи. В частности, были установлены вертикальные шахты лифтов и воздухопроводы. Пространство между балками пола и потолка составляло более 18 дюймов. Деревянный пол был покрыт медной или цинковой подкладкой. Эти факторы способствовали незаметному распространению пожара с угрожающей скоростью с одного этажа на другой. Предполагается, что крыша загорелась еще до прибытия пожарной команды. Металлические накладки пола препятствовали операции локализации пожара в пустотах, огонь незаметно прошел мимо

места, где работали пожарные, и вырвался наружу в других помещениях. Такие проблемы являются общими для пожаров в зданиях с пустотами [8].

При наличии в конструкциях зданий сообщающихся между собой пустот пожары, возникающие внутри них, могут длительное время скрыто развиваться и даже распространяться в другие части здания, поэтому обнаружить зоны горения очень сложно, что создает значительные опасности для людей и затрудняет разведку и тушение пожара [8].

С оперативной точки зрения развитый пустотный пожар является чрезвычайно сложным. Как правило, по прибытии пожарные обнаруживают сильное задымление внутри здания значительных размеров. Хотя дыхательные аппараты позволяют работать в густом дыму, пожарные могут столкнуться с огромными проблемами при определении основных направлений распространения огня. Опасность таких пожаров, как правило, не распознается до тех пор, пока не станет слишком поздно и сравнительно небольшой пожар не перерастет в крупный.

Для своевременного принятия специальных мер по предотвращению развития горения в пустотах об их наличии в конструкциях зданий руководители подразделений пожарной охраны, выезжающих на тушение пожаров, должны знать заранее. Помимо подачи стволов на горящий этаж, целесообразно подавать дополнительный ствол на вышерасположенный этаж для ограничения распространения горения вверх. Кроме того, следует устраивать отверстия в перекрытиях для отвода горячих продуктов горения и с помощью переносных тепловизоров проводить специальную разведку с целью выявления наиболее высокотемпературных очагов, в частности возможного проникновения огня в пустоты [8].

Приводятся примеры нескольких пожаров в зданиях, имеющих конструкционные пустоты, в которых пожар развивался медленно и не казался опасным [9]. Пожарные начинали внутреннюю атаку, и вдруг пожар неожиданно усиливался, приводя к жертвам. Такие пустоты часто встречаются в старинных зданиях. Пожарные должны учитывать это, чтобы иметь возможность быстрого отступления. В целях безопасности они должны заранее обсудить сигнал отступления при появлении первых признаков опасности.

В течение 1968 г. в пяти крупнейших в Великобритании спортивных сооружениях произошли пожары. Наиболее значительным из них был пожар на стадионе г. Ноттингем, где в это время находилось большое число зрителей и спортсменов [10]. Остальные пожары происходили в отсутствие людей, что исключило человеческие жертвы и необходимость проведения массовых спасательных работ.

Однако все отмеченные пожары сопровождались значительными разрушениями и большим материальным ущербом. Например, 29 марта пожар полностью разрушил трибуны и повредил только что отстроенное вспомогательное здание спортивного клуба на футбольном стадионе г. Истбурн. Эти трибуны были сооружены из древесины более 50 лет назад. Огонь уничтожил их в течение 1 ч, несмотря на все усилия пожарных. Следует отметить, что для трибун футбольных стадионов велика вероятность возникновения пожара вследствие попадания на горючие конструкции непотушенной сигареты. Особенно это характерно для трибун старой постройки, имеющих строительные пустоты под скамьями для зрителей, где скапливается большое количество горючего мусора.

В находящемся на специальном учете здании постройки 1727 г. в Эбингдоне (графство Оксфордшир, Великобритания) возникший среди ночи пожар не получил сильного развития и не привел к уничтожению объекта, представляющего историческую и художественную ценность [11]. Это явилось следствием грамотно составленного оперативного плана пожаротушения с учетом всех специфических факторов риска и проведения быстрой мощной атаки. Особенностью здания является наличие многочисленных пустот и ниш, по которым пожар способен скрытно распространяться. План расположения этих пустот использовался пожарными при корректировке боевых действий с учетом складывавшейся обстановки. При этом с первых минут борьбы с пожаром много внимания было уделено предотвращению повреждения имущества в здании, а также его строительных конструкций и отделки.

Руководитель тушения пожара при принятии командования должен знать, что пожар происходит в здании, которому более 100 лет [12]. Распространение пожара на верхние этажи и на соседние здания является не только возможным, но и вероятным. К конструктивным особенностям, связанным со старыми зданиями и повышающим вероятность распространения пожара, относятся: деревянное каркасное строительство; световые и воздушные связи между зданиями; последствия ремонта, приводящие к увеличению скрытых пустот, а также к вероятности раннего разрушения. Кроме того, возможно наличие общих с прилегающими зданиями мансард и подвалов, что также способствует быстрому распространению огня.

На новом испытательном полигоне управления строительных исследований Великобритании в г. Кардингтон проведены полномасштабные огневые испытания, в ходе которых изучалась динамика пожаров в жилых зданиях, имеющих слой теплоизоляции и поверх него наружную обкладку — весьма

распространенную в стране конструкцию [13]. Показано, что наличие пустот между теплоизоляцией и обкладкой ведет к накоплению в них конденсированной влаги, которая ухудшает свойства теплоизоляционных материалов и вызывает интенсивную коррозию металлических элементов конструкции и трубопроводов. Кроме того, по этим пустотам может скрытно распространяться возникший на нижних уровнях здания пожар. С целью предотвращения этого предлагается пустоты перекрывать поэтажными горизонтальными поясами из огнестойкого или вспучивающегося при нагревании в условиях пожара материала.

Национальной ассоциацией страховых компаний Великобритании (The Association of British Insurers) изучены риски пожаров кабельных линий коммуникационных систем [14], в частности кабельных линий, размещенных на полу, потолке помещений и во внутренних пустотах зданий. Обращено внимание на сложность обнаружения загорания коммуникационных линий, проложенных в кабельных каналах. Необходимость оценки рисков продиктована широким использованием в современных многоэтажных зданиях локальных вычислительных сетей со значительным количеством кабельных линий, а также размещением в каналах с различными характеристиками кабельных линий разного назначения. Рекомендовано оснащать вертикальные кабельные каналы спринклерными системами и установками газового пожаротушения. Желательно использовать сертифицированные кабельные линии.

Ассоциацией English Heritage (Великобритания) разработана процедура оценки риска пожара в зданиях, представляющих историческую ценность [15]. Для каждого конкретного объекта следует выработать план действий на случай пожара либо иных стихийных бедствий по спасению ценностей — картин, музейных экспонатов. Особенности конструктивных элементов зданий (наличие внутренних пустот) стимулируют распространение пламени. Доступ бойцов пожарных команд к верхним этажам здания в ряде случаев затруднен, что приводит к дополнительным потерям времени при тушении пожара. Критическим фактором с точки зрения обес-

печения сохранности исторических ценностей является раннее обнаружение пожара, своевременное прибытие пожарной команды, круглосуточный мониторинг ситуации персоналом, ответственным за эксплуатацию здания.

Национальной ассоциацией противопожарных служб США (NFPA) на периодической основе проводится работа по обновлению разрабатываемых стандартов и Правил пожарной безопасности. Документ NFPA 914 отражает требования к обеспечению пожарной безопасности зданий, представляющих историческую ценность [16]. Оценка рисков возникновения пожара в зданиях производится на основе анализа данных свойств применяемых материалов. Документ NFPA 914 в редакции 2001 г. содержит расширенный набор требований, специализированный по указанной категории зданий.

Выводы

Из представленных материалов следует, что скрытое распространение пожара по пустотам конструкций возможно как в старинных, так и в новых зданиях. Особенностью старинных зданий является наличие среди них большой доли исторических зданий, в которых невозможно удовлетворить противопожарным требованиям без изменения исторического облика и для которых в процессе тушения требуется минимизация повреждений. Поэтому особо важную роль играет выполнение мер противопожарного режима.

Среди факторов, способствующих распространению пожара по пустотам, отмечается накопление горючего мусора в полостях, применение горючей теплоизоляции, устройство сообщающихся между собой полостей.

Для удачного тушения пожара важное значение имеет заранее составленный план пожаротушения, учитывающий расположение пустот в здании.

Среди тенденций развития нормативных требований развитых стран (Великобритании, США) наблюдается создание противопожарных требований к историческим зданиям. Вероятно, для сохранения отечественного архитектурного наследия такую возможность следует рассмотреть и в России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баум К. Описание наиболее интересных пожаров, происшедших в С.-Петербурге – Петрограде с 1703 по 1922 гг. (Копия с авторской рукописи, хранящейся в книжном собрании Постоянной пожарно-технической выставки г. Ленинграда). — Часть 1 (1703 г. – 19 июля 1882 г.). — Л. : Постоянная пожарно-техническая выставка, 1969. — 182 с.
2. Ройтман М. Я. Пожарная профилактика в строительном деле. — М. : Изд-во МКХ РСФСР, 1954. — 304 с.
3. Смирнов Н. Трагедия в Самаре // Пожарное дело. — 1999. — № 4. — С. 20–23.
4. Исакова А. Пожар в Самаре // Гражданская защита. — 2000. — № 12. — С. 52.
5. Fatal fire at Russian police HQ // Fire Prev. — 1999. — No. 319. — P. 6.

6. Владелец “Хромой лошади” рассказал о трагедии // Российская газета. — 05.12.2012. URL : <http://www.rg.ru/2012/12/05/reg-pfo/perm-godovshina.html> (дата обращения: 5 мая 2013 г.)
7. Баталин Б. С., Евсеев Л. Д. Аргументированный ответ Ассоциации производителей и поставщиков пенополистирола // Энергоназор и энергобезопасность. — 2011. — № 1. — С. 91–100.
8. The enemy within: Problems encountered in dealing with structural void fires // Fire. — 1989. — Vol. 92, No. 1013. — P. 40, 43.
9. Void spaces // Fire Fight. Can. — 1990. — Vol. 34, No. 7. — P. 18.
10. Playing safe in sports arenas // Fire Prev. — 1992. — No. 250. — P. 37.
11. Listed building saved from destruction // Fire Prev. — 1996. — No. 293. — P. 15.
12. Pressler B. Fires in old commercial occupancies // Fire Engineering. — 1995. — Vol. 148, No. 8. — P. 24–25.
13. Fire spread in cladding systems // BRE News of Constr. Res. — 1993. — October. — P. 1.
14. Wired for safety // Fire Prev. — 2001. — No. 341. — P. 28–30.
15. Emery Steve. Preserving the past // Fire Prev. and Fire Eng. J. — 2002. — December. — P. 17–19.
16. Watts John M. (Jr), Solomon Robert E. Fire safety code for historic structures // Fire Technol. — 2002. — Vol. 38, No. 4. — P. 301–310.

Материал поступил в редакцию 17 мая 2013 г.

English

PROPAGATION OF FIRES IN BUILDINGS VOIDS (literary review based on abstract journal series “Fire Safety” from 1982 to 2012)

GOLIKOV A. D., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Deputy Head of Scientific Work of Saint-Petersburg Branch of Federal State Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Naberezhnaya, 35, St. Petersburg, 193079, Russian Federation)

CHERKASOV Eu. Yu., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Saint-Petersburg Branch of Federal State Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (Oktyabrskaya Naberezhnaya, 35, St. Petersburg, 193079, Russian Federation; e-mail address: cherkasovspb@inbox.ru)

ABSTRACT

Analytical review of articles, based on abstract journal “Fire Safety” from 1982 to 2012, concerning the hidden propagation of fire in the cavities of buildings have been made. The hidden propagation of fire causes delayed discovery of fire, great financial losses and casualties. According submitted materials it is clear that hidden propagation of fire in the cavities of structures is possible both in old and new buildings. Feature of the old buildings is the presence of a large percentage of historic buildings, which can not meet the fire protection requirements without changing the historical image, but in the process of extinction it is required to minimize the damage. So the most important is the implementation of measures of fire safety conditions. In cases of successful fire fighting it is essential to have a preconceived plan fire, taking into account the location of voids in the building. Among the factors contributing to the spread of fire on the voids have shown trends of accumulation of combustible materials in the cavities, the use of combustible insulation, arrangement of interconnected voids. Among the trends of development of the regulatory requirements of developed countries (the UK and the U. S.) there is the allocation of fire protection requirements to historic buildings.

Keywords: fire safety; spread of the fire; buildings; voids.

REFERENCES

1. Baum K. *Opisaniye naibolee interesnykh pozharov, proissleshshikh v S.-Peterburge–Petrograde s 1703 po 1922 gg. (Kopiy s avtorskoy rukopisi khranyashcheyasya v knizhnom sobranii Postoyannoy pozharnotekhnicheskoy vystavki g. Leningrada), Chast 1 (1703 g. — 19 iyulya 1882 g.)* [Description of the most interesting fires occurring in St. Petersburg–Petrograd from 1703 to 1922 (A copy from the author’s manuscript kept in the book collection of the Permanent fire-technical exhibition of Leningrad). Part 1 (1703 – 19 July 1882)]. Leningrad, Postoyannaya pozharno-tekhnicheskaya vystavka Publ., 1969. 182 p.

2. Roytman M. Ya. *Pozharnaya profilaktika v stroitel'nom dele* [Fire prevention in the construction business]. Moscow, Izdatel'stvo Ministerstva kommunalnogo khozyaystva RSFSR, 1954. 304 p.
3. Smirnov N. Tragediya v Samare [The tragedy in Samara]. *Pozharnoye delo — Fire Fighting*, 1999, no. 4, pp. 20–23.
4. Isakova A. Pozhar v Samare [Fire in Samara]. *Grazhdanskaya zashchita — Civil Protection*, 2000, no. 12, p. 52.
5. Fatal fire at Russian police HQ. *Fire Prev.*, 1999, no. 319, p. 6.
6. Vladelets “Khromoy loshadi” rasskazal o tragedii [Owner “Lame Horse” told about the tragedy]. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 05.12.2012. Available at: <http://www.rg.ru/2012/12/05/reg-pfo/perm-godovshina.html> (Accessed 5 May 2013).
7. Batalin B. S., Evseev L. D. Argumentirovannyi otvet Assotsiatsii proizvoditeley i postavshchikov penopolistirola [A reasoned reply to the Association of producers and suppliers of foam polystyrene]. *Energonadzor i energobezopasnost — Energonadzor and Energy Security*, 2011, no. 1, pp. 91–100.
8. The enemy within: Problems encountered in dealing with structural void fires. *Fire*, 1989, vol. 92, no. 1013, pp. 40, 43.
9. Void spaces. *Fire Fight. Can.*, 1990, vol. 34, no. 7, p. 18.
10. Playing safe in sports arenas. *Fire Prev.*, 1992, no. 250, p. 37.
11. Listed building saved from destruction. *Fire Prev.*, 1996, no. 293, p. 15.
12. Pressler B. Fires in old commercial occupancies. *Fire Engineering*, 1995, vol. 148, no. 8, pp. 24–25.
13. Fire spread in cladding systems. *BRE News of Constr. Res.*, 1993, October, p. 1.
14. Wired for safety. *Fire Prev.*, 2001, no. 341, pp. 28–30.
15. Preserving the past. Emery Steve. *Fire Prev. and Fire Eng. J.*, 2002, December, pp. 17–19.
16. Watts John M. (Jr), Solomon Robert E. Fire safety code for historic structures. *Fire Technol.*, 2002, vol. 38, no. 4, pp. 301–310.



Издательство «ПОЖНАУКА»

ВНИМАНИЕ! Распространяется БЕСПЛАТНО!

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



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

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

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

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

В. Л. МУРЗИНОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного архитектурно-строительного университета (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: dr.murzinov@yandex.ru)

УДК 614.821.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВА СПАСЕНИЯ ПАДАЮЩИХ С ВЫСОТЫ ЛЮДЕЙ

Рассмотрено запатентованное спасательное устройство, представляющее собой пневматический спасательный мат. Указаны достоинства этого устройства, такие как простота установки и малое время приведения его в рабочее состояние. Описан механизм заполнения воздухом внутренней полости спасательного устройства. Получена аналитическая зависимость для определения времени заполнения воздухом объема внутренней полости.

Ключевые слова: пожар; устройство спасения падающих с высоты людей; спасательные средства; пневматические спасательные маты; расход воздуха; время заполнения объема.

Спасение жизни человека в условиях пожара является одной из основных задач спасательных команд. Наиболее опасны пожары в многоэтажных зданиях и сооружениях, которые к тому же не всегда оборудованы средствами эвакуации с верхних этажей. В этом случае используют прыжковые спасательные средства [1].

На сегодняшний день выбор этих средств небольшой. Например, пожарными и службами спасения применяется натяжное спасательное полотно, которое удерживается 16 бойцами. Надежность спасения этим средством мала, так как натянутое полотно имеет небольшую площадь и натягивается на небольшой высоте от земли. Кроме того, путь торможения падающего человека очень мал. Используются также относящиеся к прыжковым спасательным средствам пневматические спасательные маты, которые бывают двух типов — бескаркасные и с надувным каркасом. Например, спасательная подушка включает подкачку надувных мешков и требует многочисленного персонала. Наличие на приемной поверхности жестких крышек может привести к травмам спасаемых людей. Для спасения из зданий небольшой этажности используется спасательное средство “Куб жизни”, содержащее надувное основание, выполненное из изолированных, соединенных между собой надувных подушек (изолированных секций), сгруппированных в два яруса. На верхней стороне его основания по периметру сгруппированных подушек закреплено приемное полотно. Гашение кинетической энергии падающего человека наиболее эффективно, если высота надувного основания превышает 2 м. Кроме того, вследствие равной деформации подушек приземление спасаемого в периферийной части приемного полотна может привести к скатыванию его с полотна и трав-

мированию. Все эти прыжковые средства спасения имеют массу недостатков, которые при их использовании дают высокий риск получения смертельной травмы спасаемого человека. Основными недостатками являются:

- малая площадь приемной поверхности;
- наличие дополнительных устройств для нагнетания воздуха во внутреннюю полость;
- значительные временные затраты на подготовку к работе.

Этих недостатков лишено устройство спасения падающих с высоты людей, представленное на рис. 1 [2]. Разработка относится к области деятельности служб МЧС России и предназначена для спасения людей и различных объектов при их эвакуации из высотных зданий и сооружений.

Устройство спасения падающих с высоты людей содержит пневмокамеру 1, выполненную из прочного гибкого эластичного материала и имеющую форму призмы. В боковых стенках пневмокамеры 1 находятся клапаны 2 с возможностью пропускания воздуха только вовнутрь пневмокамеры 1. Внутри последней установлены поворотные подпружиненные штанги 3, соединенные через шарнир 4 с опорными штангами 5. К свободному концу поворотной

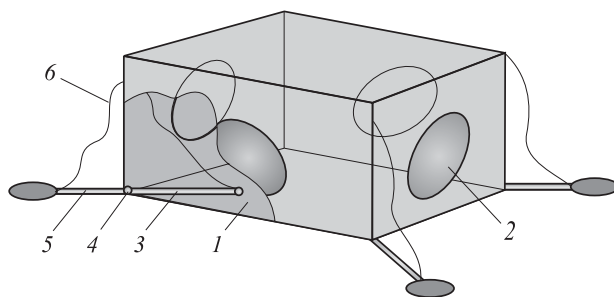


Рис. 1. Устройство спасения падающих с высоты людей

подпружиненной штанги 3 прикреплен тяговый фал 6 (трос, служащий для подъема), свободный конец которого выведен из пневмокамеры 1 наружу.

Устройство спасения падающих с высоты людей работает следующим образом. По прибытии подразделения МЧС к месту чрезвычайной ситуации для спасения людей, находящихся на высоте, бойцы подразделения разворачивают устройство в положение, показанное на рис. 2.

На каждую опорную штангу 5 становится один боец и берет в руки тяговый фал 6. Затем по команде они натягивают фалы 6, поворачивая тем самым поворотные подпружиненные штанги 3 вокруг шарниров 4. Внутренняя полость пневмокамеры 1 начнет увеличиваться и за счет образующегося в ней разрежения через клапаны 2 начнет поступать воздух из окружающей атмосферы. Натяжение фалов 6 продолжается до тех пор, пока стенки пневмокамеры 1 не натянутся (рис. 3).

Фалы 6 освобождают от натяжения, и поворотные подпружиненные штанги 3 за счет упругого соединения с шарниром 4 и под действием собственного веса перейдут в исходное положение, исключая травмирование падающего человека.

Давление в пневмокамере 1 под действием веса ее стенок станет несколько больше атмосферного, что обеспечит гарантированное уплотнение клапанов 2 и сохранение формы пневмокамеры 1 перед падением на него тела (рис. 4).

Кинетическая энергия падающего человека будет расходоваться на деформацию объема пневмо-

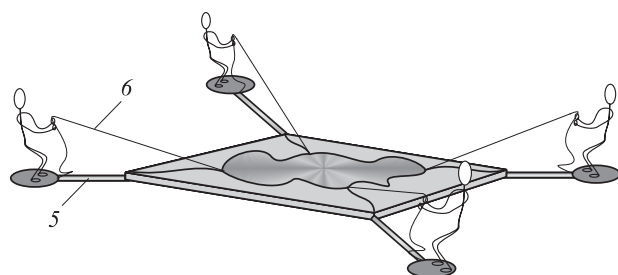


Рис. 2. Исходное положение устройства спасения падающих с высоты людей

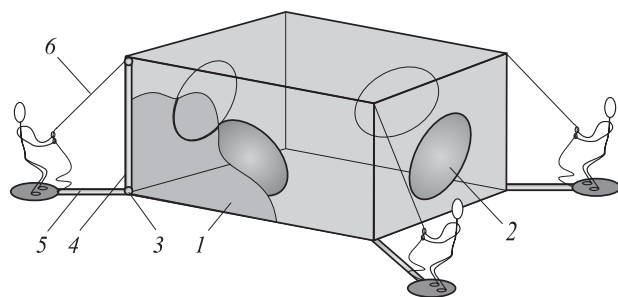


Рис. 3. Последняя фаза процесса установки спасательного средства

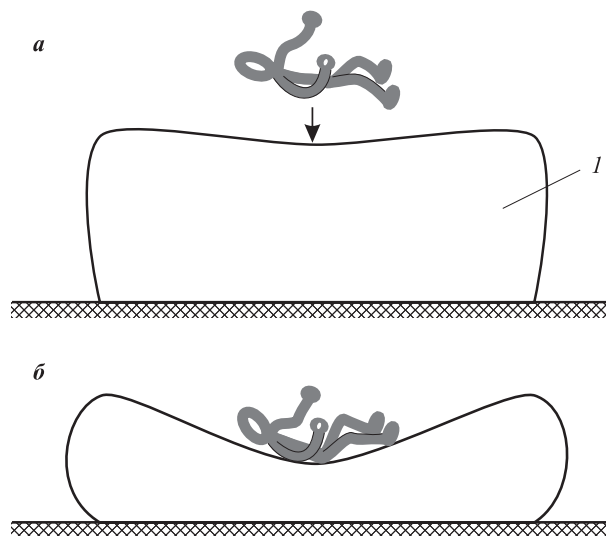


Рис. 4. Принцип работы устройства спасения падающих с высоты людей

камеры 1 (рис. 4, а), что приведет к плавному торможению скорости его падения (рис. 4, б).

Одним из важных показателей эффективности работы спасательного устройства является время его разворачивания, включающее доставку спасательного средства, подготовительные операции и, собственно, наполнение внутренней полости спасательного средства воздухом. Время первых двух этапов для всех типов спасательных средств практически одинаковое. Для определения времени заполнения воздухом внутренней полости спасательного средства рассмотрим расчетную схему (рис. 5).

Время заполнения τ может быть определено из соотношения, учитывающего изменение объема V внутренней полости:

$$dV/d\tau = Q, \quad (1)$$

где Q — действительный мгновенный расход воздуха в процессе заполнения, $\text{м}^3/\text{с}$;

$$Q = \eta \frac{\pi}{4} m \sqrt{\frac{2}{\rho}} d^2 \sqrt{\Delta P} = k_1 \sqrt{\Delta P}; \quad (2)$$

$$k_1 = \eta \frac{\pi}{4} m \sqrt{\frac{2}{\rho}} d^2;$$

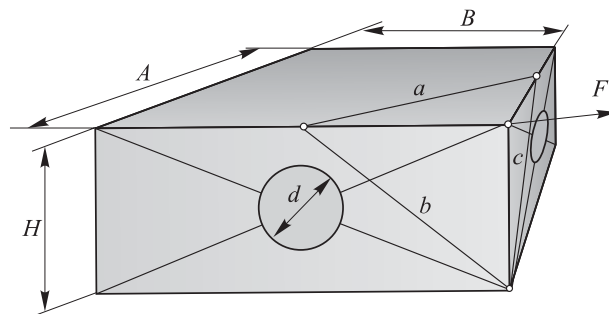


Рис. 5. Расчетная схема для определения временных характеристик

η — коэффициент расхода;

m — количество каналов для подачи воздуха в полость;

ρ — плотность воздуха, кг/м³;

d — диаметр канала для подачи воздуха в полость, м;

ΔP — перепад давления, обеспечивающий движение воздуха в каналах, Па.

Перепад давления ΔP может быть определен на основе расчетной схемы (см. рис. 5):

$$\Delta P = \frac{F_{T1}}{S_o} = \frac{F_1}{S_o} \sin \alpha, \quad (3)$$

где F_{T1} — усилие, поворачивающее штангу, Н;

$F_{T1} = F_1 \sin \alpha$;

F_1 — усилие, развиваемое одним бойцом, Н;

α — угол между штангой и линией действия усилия бойца, рад;

S_o — площадь поверхности спасательного средства, которую боец перемещает, преодолевая сопротивление перепада давления ΔP , м²;

$$S_o = \sqrt{p_x(p_x - a)(p_x - b)(p_x - c)}; \quad (4)$$

$$p_x = \frac{a + b + c}{2}; \quad a = \frac{1}{2} \sqrt{A^2 + B^2};$$

$$b = \frac{1}{2} \sqrt{4H^2 + B^2}; \quad c = \frac{1}{2} \sqrt{4H^2 + A^2}.$$

Учитывая геометрические соотношения (рис. 6), выразим $\sin \alpha$ через угол β поворота штанги. Из расчетной схемы (см. рис. 6) имеем:

$$\gamma = \beta - \alpha; \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta}{L + H \cos \beta}; \quad \Delta = H \sin \beta - h;$$

$$\operatorname{tg}(\beta - \alpha) = \frac{H \sin \beta - h}{H \cos \beta + L} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg}(\beta - \alpha) = k_2, \quad (5)$$

где L — расстояние бойца до поворотной штанги, м;

h — высота расположения точки приложения усилий, развиваемых бойцом, м;

$$k_2 = \frac{H \sin \beta - h}{H \cos \beta + L}.$$

После преобразований (5) получим:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \beta - k_2}{k_2 \operatorname{tg} \beta + 1}. \quad (6)$$

Угол α в процессе установки спасательного средства меньше 30°, поэтому, не превышая 5 %-ной погрешности, можно произвести замену: $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$.

Тогда соотношение (3) будет иметь вид:

$$\Delta P = \frac{F_1}{S_o} \frac{L \sin \beta + h \cos \beta}{H - h \sin \beta + L \cos \beta}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) видно, что перепад давления, создающий поток воздуха во внутреннюю полость

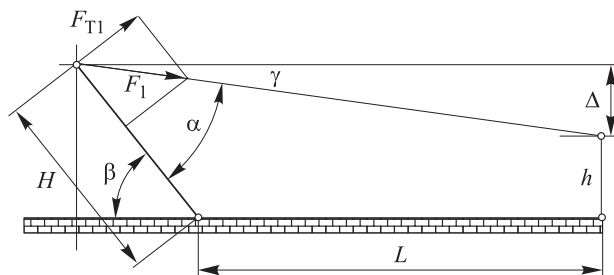


Рис. 6. Расчетная схема для определения перепада давлений ΔP

спасательного средства, существенно зависит от угла поворота штанги, поэтому расходная характеристика также будет функцией угла поворота β . Уравнение (2) с учетом (7) примет вид:

$$Q(\beta) = k_1 \sqrt{\frac{F_1}{S_o}} \sqrt{\frac{L \sin \beta + h \cos \beta}{H - h \sin \beta + L \cos \beta}}. \quad (8)$$

Средний расход Q_{cp} для интервала изменения $\beta = [0, \dots, \pi/2]$ выразится как

$$Q_{cp} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} Q(\beta) d\beta. \quad (9)$$

По уравнению (8) построен график, показанный на рис. 7.

Решением уравнения (1) будет:

$$\int \frac{dV}{Q(\beta)} = \int dt + C, \quad (10)$$

где $C = 0$ при $V = 0$ и $\tau = 0$.

Тогда время наполнения воздухом внутренней полости устройства τ_o для спасения падающих с высоты людей представим в виде

$$\tau_o = \int_0^{V_o} \frac{dV}{Q(\beta)}. \quad (11)$$

Определим связь между объемом спасательного средства и углом поворота штанги. Для этого рас-

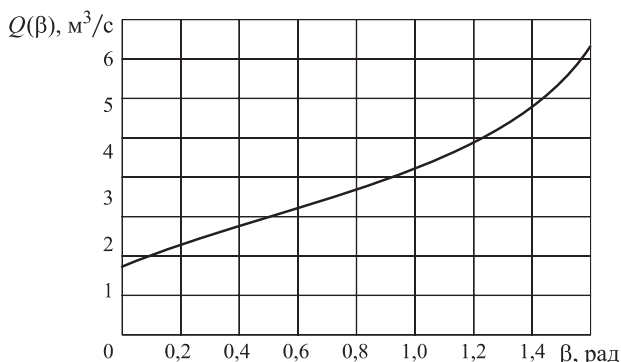


Рис. 7. Расходная характеристика подачи воздуха $Q(\beta)$ во внутреннюю полость устройства спасения падающих с высоты людей при следующих параметрах: $A = 8, B = 5, H = 3, F_1 = 300, m = 4, d = 0,5, \eta = 0,7$

Время разворачивания устройства спасения падающих с высоты людей (без учета подготовительных операций)

№ п/п	Геометрические характеристики объема V_0 , м			Время разворачивания τ_0 , с, по (15)	Усилие F_1 , развиваемое бойцом, Н	Средний расход воздуха наполнения Q_{cp} , м ³ /с, по (9)
	A	B	H			
1	6	3	2,5	9	300	5,7
2	6	3	2,5	11	200	4,65
3	6	3	2,5	15	100	3,29
4	6	4	3	16	300	4,63
5	6	4	3	20	200	3,78
6	6	4	3	28	100	2,67
7	8	5	3	34	300	3,91
8	8	5	3	41	200	3,19
9	10	5	3	47	300	3,56
10	10	5	3	57	200	2,90
11	8	5	3	58	100	2,26
12	10	5	3	82	100	2,06

смотрим изменяющийся объем спасательного средства как усеченную пирамиду с прямоугольным основанием. Объем усеченной пирамиды определим по формуле

$$V = \frac{1}{3} (S_1 + \sqrt{S_1 S_2} + S_2) H_p, \quad (12)$$

где $S_1 = A \times B$; $S_2 = S_1 k^2$;

$$k = 1 - \xi \cos \beta; \quad \xi = \frac{2H}{\sqrt{A^2 + B^2}};$$

$$H_p = H \sin \beta.$$

Примем допущения:

- $H > A, B$;
- объем спасательного средства изменяется от нуля до максимального значения $V_0 = A \times B \times H$;
- форма спасательного средства в конце фазы наполнения — куб, в общем случае — призма;
- промежуточная форма спасательного средства — пирамида усеченная, высота которой изменяется от нуля до H .

Введем относительный объем

$$V_x = V/V_0. \quad (13)$$

Тогда

$$V_x = \frac{1}{3} (1 + k + k^2) \sin \beta$$

или

$$V_x(\beta) = \left[1 - \xi \cos \beta + \frac{1}{3} \xi^2 (\cos \beta)^2 \right] \sin \beta. \quad (14)$$

Соотношение (11) запишем с учетом (2), (8), (14) при следующей замене пределов интегрирования:

$$\left. \begin{aligned} V = 0 &\rightarrow \beta = 0 \\ V = V_0 &\rightarrow \beta = \pi/2 \end{aligned} \right\};$$

$$\begin{aligned} \tau_0 &= V_0 \int_0^{\pi/2} \frac{dV_x(\beta)}{Q(\beta)} = \\ &= V_0 \int_0^{\pi/2} \frac{d \left[\left(1 - \xi \cos \beta + \frac{1}{3} \xi^2 (\cos \beta)^2 \right) \sin \beta \right]}{Q(\beta)} \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} \tau_0 &= V_0 \int_0^{\pi/2} \left[\left((\cos \beta)^3 - \frac{2}{3} \cos \beta \right) \xi^2 + \right. \\ &\quad \left. + (1 - 2(\cos \beta)^2) \xi + \cos \beta \right] \times \\ &\quad \times \left[\frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \text{ md}^2 \sqrt{\frac{F_1}{S_0}} \sqrt{\frac{L \sin \beta + h \cos \beta}{H - h \sin \beta + L \cos \beta}} \right]^{-1} d\beta. \quad (15) \end{aligned}$$

Формула (15) позволяет определить время наполнения воздухом внутренней полости устройства спасения падающих с высоты людей по заданным параметрам этого устройства (см. таблицу).

Преимущества предлагаемого устройства спасения падающих с высоты людей обусловлены тем, что повышается надежность и автономность работы спасательного устройства, так как отсутствует необходимость в источнике сжатого воздуха. Спасательное устройство может быть приведено достаточно быстро (десятки секунд) и с минимальным количеством бойцов в рабочее состояние неограниченное число раз. При длительном хранении спасательное устройство до момента его использования сохраняет свою работоспособность и при хранении не нуждается в дополнительной проверке работоспособности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре. Нормы и правила размещения и применения. — М.: ВНИИПО МЧС России, 2009. — 16 с.
2. Пат. 2335312 Российская Федерация, МПК А62В 1/22. Устройство для спасения падающих с высоты тел / Мурзинов В. Л., Асминин В. Ф.; заявитель и патентообладатель: Воронежская государственная лесотехническая академия. — № 2007104643/12; заявл. 06.02.2007 г.; опубли. 10.10.2008 г., Бюл. № 28. — 4 с.

Материал поступил в редакцию 10 июня 2013 г.

MODELLING OF TIME CHARACTERISTICS OF THE DEVICE OF RESCUE OF PEOPLE FALLING FROM HEIGHT

MURZINOV V. L., Doctor of Technical Sciences, Professor of Fire and Industrial Department, Voronezh State University of Architecture and Construction (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail address: dr.murzinov@yandex.ru)

ABSTRACT

The patented saving device representing pneumatic escape-mat is considered. This class of saving means is the most effective and possesses the big throughput. This saving device is used at occurrence of a fire in buildings and the constructions which have been not equipped with means of evacuation is more often. It is possible to attribute a small amount of fighters to advantages of this device for preparation of means for work, simplicity of installation and small time of reduction of the saving device in a working condition. In this saving device are absent delivery fans as the original method of submission of air is used. The mechanism of filling is shown by air of an internal cavity of the saving device. Analytical dependence for definition of time of filling by air of volume of an internal cavity is received. This formula can be used at designing pneumatic saving mats.

Keywords: fire; device of rescue of people falling from height; saving means; pneumatic escape-mats; the charge of air; time of filling of volume.

REFERENCES

1. *Means of an individual defence and rescue of people at a fire. Norms and rules of accommodation and application.* Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 16 p. (in Russian).
2. Murzinov V. L., Asminin V. F. *Ustroystvo dlya spaseniya padayushchikh s vysoty tel* [The device for rescue of bodies falling from height]. Patent RF, no. 2335312, 2009. 4 p.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

ОГNETУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ

Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



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

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

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

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

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@yandex.ru)

УДК 614.841.42

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ “ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛЕСНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ” ПО НАПРАВЛЕНИЮ ОБУЧЕНИЯ МАГИСТРОВ “ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ”

Представлена рабочая программа дисциплины “Приборы и системы для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности” по направлению “Пожарная безопасность”. Представлены цели и задачи курса. Описана структура модуля. Приведены данные по самостоятельной работе студентов. Описаны перспективы подготовки специалистов для служб охраны лесов, лесного хозяйства и МЧС России.

Ключевые слова: учебный процесс; приборы и системы; лесная пожарная опасность; мониторинг; прогнозирование.

Введение

В XX–XXI веках лесные пожары из природного регулирующего фактора превратились в катастрофическое явление [1]. В результате активности очагов лесных пожаров происходит уничтожение лесного фонда государства, наносится огромный экономический, экологический и социальный ущерб. Технологии тушения лесных пожаров пока не являются действенным способом борьбы с этими катастрофическими процессами. Однако надо понимать, что перед специалистами стоит задача не ликвидировать последствия возгорания, а прогнозировать лесную пожарную опасность на конкретной лесопокрываемой территории. Проблему создания эффективного метода прогнозирования лесной пожарной опасности решают научные работники различных специальностей во многих странах мирового сообщества. К настоящему времени широко используются системы прогноза возникновения лесных пожаров, разработанные в США, Канаде, Южной Европе, Австралии и России [2–6]. Кроме того, перспективны разработки прогностического моделирования лесной пожарной опасности на основе вероятностного метода [7] и физически обоснованных математических моделей зажигания лесных горючих материалов различными источниками локального нагрева [8–10]. Математическая “начинка” применяется совместно с информационными и геоинформационными технологиями [11], параллельными вычислительными подходами [12]. Для мониторинга лесной пожарной опасности нередко используются инструментальные и спутниковые средства контроля параметров окружающей среды [13, 14].

Применение на практике такого разнообразного информационно-вычислительного и инструментального обеспечения требует привлечения в службы охраны лесов от пожаров соответствующим образом подготовленных специалистов. Ранее была разработана программа учебного курса по параллельным информационным технологиям для подготовки специалистов для МЧС России [15]. Для ее обеспечения необходимо дополнительно разработать учебный курс по приборам и системам мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности.

Цель статьи — освещение рабочей программы учебного курса (модуля) по приборам и системам для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности в целях подготовки магистров по направлению “Пожарная безопасность”.

Цели и задачи курса

В результате освоения данной дисциплины студент приобретает знания, умения и опыт, обеспечивающие достижение следующих целей основной образовательной программы “Пожарная безопасность”.

Программа курса нацелена на подготовку магистров по следующим направлениям:

- научно-исследовательская деятельность, в том числе в междисциплинарных областях, связанная с совершенствованием объектов профессиональной деятельности и процессов в области мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности;
- производственно-технологическая деятельность в области современных технологий высокоэф-

фективных процессов прогнозирования возникновения лесных пожаров и создания конкурентоспособных технологий их мониторинга;

- самостоятельное обучение и освоение новых профессиональных знаний и умений, непрерывное профессиональное самосовершенствование.

Дисциплина “Приборы и системы для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности” относится к дисциплинам профессионального цикла. Она непосредственно связана с дисциплинами общенаучного цикла (“Математическое моделирование”, “Компьютерные технологии в науке, технике и образовании”), которые являются кореквизитами для данной дисциплины. Пререквизитами для дисциплины “Приборы и системы для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности” являются дисциплины профессионального цикла: “Основы разработки и проектирования программных продуктов”, “Инженерный эксперимент” и общенаучного цикла — “Информационно-компьютерные технологии”.

Результаты освоения модуля

После изучения данной дисциплины магистранты приобретают знания, умения и опыт, соответствующие результатам основной образовательной программы. Соответствие результатов освоения дисциплины “Приборы и системы для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности” формируемым компетенциям общей образовательной программы (ООП) представлено в табл. 2.

В результате освоения дисциплины “Приборы и системы для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности” магистрант должен знать:

- веб-технологии, применяемые в области прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности;
- географические информационные системы (ГИС-системы) для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности;
- номенклатуру приборной базы для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности.

В результате освоения дисциплины магистрант должен уметь:

- осуществлять проектирование, разработку и использование информационно-вычислительной системы прогнозирования (мониторинга) лесной пожарной опасности;
- работать с приборами, используемыми для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности.

В результате освоения дисциплины магистрант должен владеть опытом решения следующих задач:

- проектирование информационно-вычислительной системы мониторинга лесной пожарной опасности;
- проектирование информационно-вычислительной системы прогнозирования лесной пожарной опасности;
- разработка информационно-вычислительной системы мониторинга лесной пожарной опасности;
- разработка информационно-вычислительной системы прогнозирования лесной пожарной опасности;
- формулировка проблемы и получение данных мониторинга (прогнозирования) лесной пожарной опасности с использованием информационно-вычислительных систем;
- выбор необходимого приборного оснащения для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности.

В процессе освоения дисциплины у студентов развиваются следующие компетенции:

1) *универсальные* (общекультурные): способность и готовность к научно-исследовательской работе, постановке, проектированию и разработке информационных систем мониторинга и прогнозирования природных процессов;

2) *профессиональные*: способность и готовность к разработке и использованию различных систем мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности; способность и готовность к использованию приборов контроля и мониторинга параметров окружающей среды и слоя лесного горючего материала.

Структура и содержание модуля

В модуль входят следующие разделы (дисциплины):

1. *Технологии проектирования и разработки веб-ориентированных информационно-вычислительных систем прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности.* В разделе рассматриваются вопросы разработки проектной документации, прототипов информационно-вычислительных систем; выполнения законченных проектов по созданию информационно-вычислительных систем прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности на базе веб-ориентированных технологий; приводится информация по системам разработки веб-приложений и порталов, реализующих современные вычислительные модели на базе актуальных информационных технологий. Материал излагается как на теоретическом уровне, так и на практическом.

2. *Эксплуатация веб-ориентированных информационно-вычислительных систем прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности.* В раз-

деле приводится информация о существующих промышленных или индустриальных системах прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности, которые эксплуатируются в настоящее время. Кроме того, представлены материалы по перспективным разработкам в этой области, введенным в опытную эксплуатацию в различных странах мира. Кроме освоения теоретического материала, предполагается и практическая работа.

3. *Технологии проектирования и разработки экспертных систем прогнозирования и мониторинга лесных пожаров.* В разделе представлены сведения по разработке проектной документации, программированию и запуску в эксплуатацию экспертных систем и систем поддержки принятия решений в области прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности.

4. *Эксплуатация экспертных систем прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности.* В разделе освещаются вопросы применения в практике мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности систем поддержки принятия решений и экспертных систем. Рассматриваются существующие системы прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности, которые эксплуатируются в настоящее время. Приводится информация по акту-

альным проектам, реализуемым в различных странах мира. По аналогии с другими разделами освещаются не только теоретические вопросы, но и предполагается закрепление навыков на практике.

5. *Технологии проектирования и разработки географических информационных систем прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности.* В разделе рассматриваются вопросы проектирования и создания географических информационных систем различного назначения в области прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности для персональной и мобильной вычислительной техники, многопроцессорных вычислительных систем. Представлен материал по веб-ориентированным географическим информационным системам. Предполагается проведение занятий, целью которых является приобретение навыков работы в эксплуатируемых ГИС-системах.

6. *Приборная база для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности.* В разделе представлена структурированная и справочная информация по различному приборному оснащению для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности. Предполагается изложение материала по оборудованию для контроля и измерения различных параметров среды и слоя лесного горючего ма-

Таблица 1. Структура дисциплины по разделам и формам организации обучения

Название раздела/темы	Аудиторная работа (час)			СРС (час)	Коллоквиум, контрольная работа	Итого
	Лекция	Практическое занятие/Семинар	Лабораторное занятие			
1. Технологии проектирования и разработки веб-ориентированных информационно-вычислительных систем прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности	8	8	10	6	4	36
2. Эксплуатация веб-ориентированных информационно-вычислительных систем прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности	4	4	6	8	4	26
3. Технологии проектирования и разработки экспертных систем прогнозирования и мониторинга лесных пожаров	8	8	10	6	4	36
4. Эксплуатация экспертных систем прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности	4	4	6	8	4	26
5. Технологии проектирования и разработки географических информационных систем прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности	6	6	8	10	4	34
6. Приборная база для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности	8	6		6	4	24
7. Использование приборов для проведения мероприятий по мониторингу и прогнозированию лесной пожарной опасности	8	8	10	4	4	34
Итого	46	44	50	48	28	216

Таблица 2. Распределение по разделам дисциплины планируемых результатов обучения

№ п/п	Формируемая компетенция	Раздел дисциплины							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	3.1.1	+	+	+	+	+			
2	3.1.2	+	+	+	+	+			
3	3.2.1					+			
4	3.2.2					+			
5	3.3.1						+	+	
6	3.3.2						+	+	
7	У.1.1	+	+	+	+	+			
8	У.1.2	+	+	+	+	+			
9	У.1.3	+	+	+	+	+			
10	У.2.1						+	+	
11	У.2.2						+	+	
12	В.1	+	+	+	+	+			
13	В.2	+	+	+	+	+			
14	В.3	+	+	+	+	+			
15	В.4	+	+	+	+	+			
16	В.5.1	+	+	+	+	+			
17	В.5.2	+	+	+	+	+			
18	В.6.1						+	+	
19	В.6.2						+	+	

териала, обуславливающих уровень лесной пожарной опасности.

7. *Использование приборов для проведения мероприятий по мониторингу и прогнозированию лесной пожарной опасности.* Материалы раздела нацелены на развитие навыков практического использования приборной базы для мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности. Освоение настоящего раздела предполагается в весеннем семестре, когда начинается пожароопасный сезон и студенты могут на практике использовать доступное приборное оснащение.

Структура дисциплины по разделам и видам учебной деятельности с указанием временного ресурса в часах представлена в табл. 1, распределение компетенций по разделам дисциплины — в табл. 2.

Образовательные технологии

Информация по описанию образовательных технологий, обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения модуля (дисциплины), систематизирована и сведена в табл. 3.

Организация самостоятельной работы магистрантов

Дана характеристика всех видов и форм самостоятельной работы студентов (СРС), включая те-

Таблица 3. Методы и формы организации обучения (ФОО)

Метод	Лекция	Лабораторная работа	Практическое занятие/Семинар	Тренинг, мастер-класс	СРС
IT-методы	+	+	+		+
Работа в команде		+	+		+
Case-study (обучение на конкретном примере)	+	+			+
Игра					
Методы проблемного обучения	+	+			+
Обучение на основе опыта	+	+	+		+
Опережающая самостоятельная работа	+	+			+
Проектный метод					
Поисковый метод	+				+
Исследовательский метод	+	+	+		+
Другие методы					

кущую и творческую (исследовательскую) деятельность студентов:

- *Текущая СРС*, направленная на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений: работа с лекционным материалом; поиск и обзор литературы и электронных ресурсов по индивидуально заданной проблеме курса; выполнение домашних заданий; опережающая самостоятельная работа; перевод текстов с иностранных языков; изучение тем, вынесенных на самостоятельное обучение; подготовка к лабораторным работам; подготовка к конференц-неделе.
- *Творческая (исследовательская)* проблемно ориентированная самостоятельная работа, направленная на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала студентов: поиск, анализ, структурирование и презентация информации; выполнение расчетно-графических работ; работа над междисциплинарным проектом; исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах; анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме; анализ статистических и фактических материалов по заданной теме.

Приводится развернутая характеристика тематического содержания самостоятельной работы:

1. Перечень научных проблем и направлений научных исследований:

- Экспертные системы;
- Информационно-вычислительные системы;
- Географические информационные системы;
- Мониторинг и анализ метеорологических условий;
- Мониторинг и прогнозирование лесной пожарной опасности;
- Спутниковые технологии.

2. Темы индивидуальных заданий:

- Разработка проектной документации веб-ориентированной информационно-вычислительной системы;
- Разработка проектной документации экспертной системы или системы поддержки принятия решений;
- Разработка проектной документации географической информационной системы;
- Программирование модуля для веб-ориентированной информационно-вычислительной системы;
- Программирование модуля для экспертной системы или системы поддержки принятия решений;
- Программирование модуля для географической информационной системы;
- Выполнение конкретного задания при эксплуатации веб-ориентированной информационно-вычислительной системы;
- Выполнение конкретного задания при эксплуатации экспертной системы или системы поддержки принятия решений;
- Выполнение конкретного задания при эксплуатации геоинформационной системы;
- Подбор необходимого приборного оснащения для контроля и измерения заданных параметров среды или слоя лесного горючего материала;
- Практическая работа с конкретным прибором контроля или измерения параметров среды или слоя лесного горючего материала.

3. Темы работ в структуре междисциплинарных проектов:

- Анализ статистического материала в области мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности;
- Анализ фактического материала в области мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности;
- Построение и разработка информационно-вычислительных систем на основе вероятностных и детерминированных моделей;

- Контроль и мониторинг погодных условий, уровня лесной пожарной опасности с помощью приборного оснащения.

4. Темы, подлежащие самостоятельной проработке:

- Системы усвоения метеорологических данных;
- Системы усвоения данных об уровне антропогенной нагрузки;
- Климатические модели и системы численного прогноза погоды;
- Мониторинг и анализ грозовой активности.

Цель контроля состоит в оценке уровня знаний и умений, приобретаемых студентами в процессе изучения дисциплины. Применение различных форм контроля знаний студентов расширяет возможности индивидуального подхода к изучению данной дисциплины и позволяет целенаправленно развивать творческие способности студентов.

К различным формам и способам контроля и оценки уровня знаний студентов относятся:

- тематический контроль, проводимый по итогам изучения студентами нескольких разделов данного курса (не менее двух раз в семестр);
- контроль и оценка уровня знаний, приобретаемых студентами при выполнении практических работ, проводимые при их защите;
- итоговый контроль в конце семестра, осуществляемый в виде экзамена.

Материально-техническое обеспечение курса

- Мультимедиа-проектор для представления лекционного и презентационного материала.
- Звуковоспроизводящая и усиливающая аппаратура.
- 8 персональных компьютеров в мультимедийном классе кафедры теоретической и промышленной теплотехники.
- Сетевое оборудование для доступа в Интернет.
- Необходимое программное обеспечение для разработки программ, визуализации расчетов и статистики, подготовки научных отчетов и презентационных материалов.
- Лабораторное оборудование.

Программа составлена на основе Стандарта общей образовательной программы Томского политехнического университета в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению и профилю подготовки “Пожарная безопасность”.

Выводы

Представлена рабочая программа для подготовки магистрантов по курсу “Приборы и системы для

мониторинга и прогнозирования лесной пожарной опасности” по направлению “Пожарная безопасность”. Дисциплина предполагает изучение студентами широкого диапазона информационно-вычислительных технологий и приборной базы, применяемых в области прогнозирования и мониторинга лесной пожарной опасности. Преподавание дисциплины предполагает применение разнообразных образовательных технологий. Освоение настоящего курса может способствовать трудоустройству выпускников в организациях экологического контроля, службах охраны лесов от пожаров, Рослесхозе, подразделениях МЧС России.

Благодарность

Автор выражает благодарность Учебному управлению Национального исследовательского Томского политехнического университета за предоставленную типовую рабочую программу модуля учебной дисциплины.

Работа выполнена при финансовой поддержке 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. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
2. Deeming J. E., Lancaster J. W., Fosberg M. A., Furman R. W., Schroeder M. J. The National Fire-Danger Rating System. USDA Forest Service Research Paper RM-84, February, 1972. — 165 p.
3. Stocks B. J., Alexander M. E., McAlpine R. S. et al. Canadian Forest Fire-Danger Rating System. — Canadian Forestry service, 1987. — 500 p.
4. Viegas D. X., Bovio G., Ferreira A. et al. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe // Int. J. Wildland Fire. — 1999. — Vol. 10, No. 4. — P. 235–246.
5. Matthews S. A. A comparison of fire danger rating systems for use in forests // Australian Meteorological and Oceanographic Journal. — 2009. — Vol. 58. — P. 41–48.
6. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения. — М.–Л. : Гослесбумиздат, 1949. — 76 с.
7. Барановский Н. В. Оценка вероятности возникновения лесных пожаров с учетом метеоусловий, антропогенной нагрузки и грозовой активности // Пожарная безопасность. — 2009. — № 1. — С. 93–99.
8. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 41–45.
9. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания слоя лесных горючих материалов нагретой до высоких температур частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 4. — С. 42–46.
10. Барановский Н. В. Численное исследование зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения // Бутлеровские сообщения. — 2011. — Т. 26, № 11. — С. 53–60.
11. Жарикова М. В., Барановский Н. В., Ляшенко Е. Н. Концептуальный проект веб-ориентированной географической информационной системы прогноза лесной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 3. — С. 62–68.
12. Барановский Н. В. Ландшафтное распараллеливание и прогноз лесной пожарной опасности // Сибирский журнал вычислительной математики. — 2007. — Т. 10, № 2. — С. 141–152.
13. Сухинин А. И., Пономарев Е. И. Картирование и краткосрочное прогнозирование пожарной опасности в лесах Восточной Сибири по спутниковым данным // Сибирский экологический журнал. — 2003. — № 6. — С. 669–675.
14. Митрофанов Д. П. Сравнение пирологических характеристик некоторых лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии / ИЛиД СО АН СССР. — Красноярск, 1972. — С. 52–76.
15. Барановский Н. В. Полный цикл разработки и поддержки параллельного программного комплекса прогноза лесной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 9. — С. 15–21.

Материал поступил в редакцию 30 мая 2013 г.

WORKING PROGRAM OF DISCIPLINE "DEVICES AND SYSTEMS FOR MONITORING AND FORECASTING OF FOREST FIRE DANGER" IN A DIRECTION OF MASTERS TRAINING "FIRE SAFETY"

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@yandex.ru)

ABSTRACT

Use in practice of various information and tool maintenance demands attraction in protection services of woods from fires appropriate amount of the prepared experts. On parallel information technologies the training course program is earlier developed for the Ministry of Emergency Measures and a Civil Defence. Naturally, training course working out on devices and systems of monitoring and forecasting of forest fire danger is necessary.

Article purpose — illumination of the working program of a training course (module) on devices and systems for monitoring and forecasting of forest fire danger with a view of preparation of masters in a direction "Fire safety".

The course program is aimed at preparation of masters to:

- research activity, including, in the interdisciplinary areas, connected with perfection of objects of professional work and processes in the field of monitoring and forecasting of forest fire danger;
- industrial-technological activity in the field of modern technologies of highly effective processes of forecasting of forest fire occurrence and competitively capable technologies creation of their monitoring;
- to independent training and development of a new professional knowledge and abilities, continuous professional self-improvement.

The discipline "Devices and systems for monitoring and forecasting of forest fire danger" concerns disciplines of a professional cycle. It is directly connected with disciplines of a general scientific cycle ("Mathematical modelling", "Computer technologies in a science, the technician and education") which are additional courses for the given discipline. Preliminary courses for discipline "Devices and systems for monitoring and forecasting of forest fire danger" are disciplines of a professional cycle: "Bases of development and designing of software products", "Engineering experiment", a general scientific cycle "Information-Computer Technologies".

The working program for preparation masters at the rate "Devices and systems for monitoring and forecasting of forest fire danger" in a direction "Fire safety" is presented. The discipline assumes studying by students of a wide spectrum of information technologies and the instrument base, applied in the field of forecasting and monitoring of forest fire danger. Discipline teaching assumes application of various educational technologies. Development of the present course can promote employment of graduates in the ecological control organisations, protection services of forests from fires, Rosleshoz, divisions of the Ministry of Emergency Measures of Russia.

Keywords: educational process, devices and systems, forest fire danger, monitoring, forecasting.

REFERENCES

1. 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.
2. Deeming J. E., Lancaster J. W., Fosberg M. A., Furman R. W., Schroeder M. J. The National Fire-Danger Rating System. *USDA Forest Service Research Paper RM-84*, February, 1972. 165 p.
3. Stocks B. J., Alexander M. E., McAlpine R. S. et al. *Canadian Forest Fire-Danger Rating System*. Canadian Forestry service, 1987. 500 p.
4. Viegas D. X., Bovio G., Ferreira A. et al. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe. *Int. J. Wildland Fire*, 1999, vol. 10, no. 4, pp. 235–246.
5. Matthews S. A. A comparison of fire danger rating systems for use in forests. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 2009, vol. 58, pp. 41–48.
6. Nesterov V. G. *Gorimost lesa i metody yeyo opredeleniya* [Gorimost woods and methods of its definition]. Moscow, Leningrad, Goslesbumizdat, 1949. 76 p.

7. Baranovskiy N. V. Otsenka veroyatnosti vozniknoveniya lesnykh pozharov s uchetom meteosloviy, antropogennoy nagruzki i grozovoy aktivnosti [Estimation of forest fire occurrence probability taking into account meteoconditions, anthropogenous loading and storm activity]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2009, no. 1, pp. 93–99.
8. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Matematicheskoye modelirovaniye zazhiganiya dereva khvoynoy porody nazemnym grozovym razryadom [Mathematical modelling of coniferous tree ignition by ground lightning discharge]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 3, pp. 41–45.
9. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. Matematicheskoye modelirovaniye zazhiganiya sloya lesnykh goryuchikh materialov nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Mathematical modelling of forest fuel layer ignition by heated up to high temperatures particle]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2006, vol. 15, no. 4, pp. 42–46.
10. Baranovskiy N. V. Chislennoye issledovaniye zazhiganiya sloya lesnogo goryuchego materiala sfokusirovannym potokom solnechnogo izlucheniya [Numerical research of forest fuel layer ignition by the focused flux of sunlight]. *Butlerovskiy soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2011, vol. 26, no. 11, pp. 53–60.
11. Zharikova M. V., Baranovskiy N. V., Lyashenko E. N. Kontseptualnyy proekt veb-orientirovannoy geograficheskoy informatsionnoy sistemy prognoza lesnoy pozharney opasnosti [Conceptual project of the web-oriented geographical information system of the forest fire danger forecast]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 3, pp. 62–68.
12. Baranovskiy N. V. Landshaftnoye rasparrallelivaniye i prognoz lesnoy pozharney opasnosti [Landscape parallelization and forest fire danger forecast]. *Sibirskiy zhurnal vychislitelnoy matematiki — Siberian Journal of Numerical Mathematics*, 2007, vol. 10, no. 2, pp. 141–152.
13. Sukhinin A. I., Ponomarev E. I. Kartirovaniye i kratkosrochnoye prognozirovaniye pozharney opasnosti v lesakh Vostochnoy Sibiri po sputnikovym dannym [Mapping and short-term forecasting of fire danger in forests of Eastern Siberia on satellite data]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal — Siberian Ecological Journal*, 2003, no. 6, pp. 669–675.
14. Mitrophanov D. P. Sravneniye pirologicheskikh kharakteristik nekotorykh lesnykh goryuchikh materialov [Comparison of pyrological characteristics of some forest combustible materials]. *Voprosy lesnoy pirologii — Questions of Forest Pyrology*, Krasnoyarsk, 1972, pp. 52–76.
15. Baranovskiy N. V. Polnyy tsikl razrabotki i podderzhki parallelnogo programmnoy kompleksa prognoza lesnoy pozharney opasnosti [Full cycle of development and support of parallel program complex of the forest fire danger forecast]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 9, pp. 15–21.



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

Г. В. КУЗНЕЦОВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: elf@tpu.ru)

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

УДК 536.4

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ИСПАРЕНИЯ ВОДЫ ПРИ ТУШЕНИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Проведена численная оценка эффективности использования теплоты испарения воды при тушении типичных лесных пожаров. Определены максимальные значения объемных долей жидкости, испаряющейся из “водяного снаряда” при его прохождении через пламя. Проанализировано влияние теплоты испарения “водяного снаряда” на температуру газов в его следе. Обоснована необходимость предварительного распыления воды при тушении лесных пожаров.

Ключевые слова: лесные пожары; тушение; “водяной снаряд”; тонкораспыленная вода; теплота испарения; эффективность; моделирование.

Введение

Одним из наиболее распространенных способов воздействия на лесные пожары с целью их локализации и ограничения скорости распространения пламени является ввод достаточно больших (до нескольких тонн) масс воды в зону горения [1–3]. Доставка воды в район лесного пожара осуществляется авиацией, поэтому тушащая жидкость сбрасывается, как правило, в массив огня достаточно компактно (без предварительного распыления) в виде “водяного снаряда”. До настоящего времени не опубликованы (по вполне понятным причинам) экспериментальные данные о характере влияния движущегося через пламя “водяного снаряда” на процесс снижения температуры в зоне горения на обрабатываемой авиацией территории. Отсутствуют также какие-либо сведения о том, насколько эффективно используется вода в рассматриваемых условиях ее ввода в массив огня. Для дальнейшего развития технологий тушения лесных пожаров целесообразна оценка полноты использования теплоты фазового перехода при движении “водяного снаряда” через пламя определенной высоты.

Решение этой задачи в полной постановке с учетом влияния всех значимых факторов и процессов пока, очевидно, невозможно. Результаты численного решения задач о движении одиночной капли воды [4, 5] и группы таких капель, ориентированных определенным образом относительно друг друга [6–10], через высокотемпературные продукты сгорания различных веществ показали необходимость очень длительных вычислений при моделировании про-

цессов тепломассопереноса и фазовых переходов даже при использовании относительно простых моделей [4–10].

Цель настоящей работы — оценка эффективности использования полноты испарения воды при движении “водяного снаряда” через массив высокотемпературных продуктов сгорания лесных горючих материалов на базе упрощенной модели теплопереноса.

Постановка задачи

Основное положение, являющееся базовым при постановке задачи, заключается в полноте испарения всей жидкости “водяного снаряда” при его движении через высокотемпературные газы. Предполагается, что время движения является характерным временем жизни “снаряда” t_d , а объемная скорость испарения равна скорости втекания воды в конкретный объем. При таких условиях вся жидкость, поступившая в элементарный объем за малый промежуток времени (рис. 1), соответствующий скорости движения снаряда, полностью испаряется (фронт испарения движется через пламя с этой скоростью).

Такая постановка, несмотря на определенные сложности в ее реализации, существенно упрощает анализ комплекса процессов тепломассопереноса [4–10], характерных для рассматриваемых условий. Полученные по результатам численного анализа температурные поля и изотермы соответствуют варианту полного испарения всей жидкости (идеализация реальной ситуации, позволяющая дать ответ на вопрос о полноте испарения воды при тушении лесных пожаров с применением авиации).

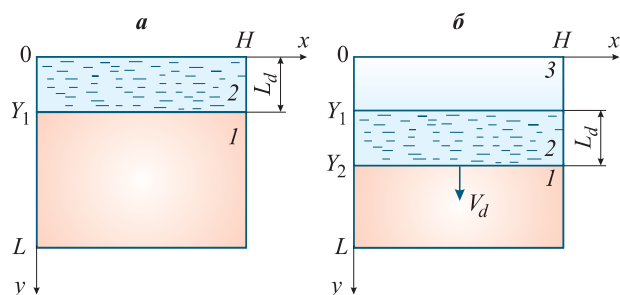


Рис. 1. Схема области решения задачи: 1 — высокотемпературные газы; 2 — “водяной снаряд”; 3 — пары воды

Математическая модель и метод решения

Математическая модель процессов теплопереноса при $0 < t < t_d$ включает уравнения теплопроводности для системы *водяной снаряд – пары воды – пламя* (см. рис. 1,б):

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_1 \left[\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right] \text{ при } 0 < x < H, Y_2 < y < L; \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a_2 \left[\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right] \text{ при } 0 < x < H, Y_1 < y < Y_2; \quad (2)$$

$$\frac{\partial T_3}{\partial t} = a_3 \left[\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right] \text{ при } 0 < x < H, 0 < y < Y_1; \quad (3)$$

$$Y_1 = V_d t, \quad Y_2 = L_d + V_d t,$$

где t — время, с;

t_d — время полного испарения (существования) “водяного снаряда”, с;

T — температура, К;

a — коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$;

$a = \lambda / (C\rho)$;

λ — коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

C — коэффициент теплоемкости, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

ρ — плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$;

x, y — координаты декартовой системы, м;

H, L — размеры области решения, м;

V_d — линейная скорость движения “снаряда”, $\text{м}/\text{с}$;

L_d — характерный продольный размер снаряда, м;

индексы 1, 2, 3 соответствуют: 1 — высокотемпературным газам, 2 — “водяному снаряду”, 3 — парам воды.

Начальные ($t = 0$) условия (см. рис. 1,а):

$$T = T_0 \text{ при } 0 < x < H, 0 < y < Y_1;$$

$$T = T_f \text{ при } 0 < x < H, Y_1 < y < L,$$

где T_0 — начальная температура “водяного снаряда”;
 T_f — начальная температура газов (продуктов сгорания лесных горючих материалов).

Граничные ($0 < t < t_d$) условия (см. рис. 1,б):

- $x = 0, x = H, 0 < y < Y_1$:

$$T = T_f; \quad (4)$$

- $x = 0, x = H, Y_1 < y < Y_2$:

$$\partial T_2 / \partial x = 0; \quad (5)$$

- $x = 0, x = H, Y_2 < y < L$:

$$T = T_f; \quad (6)$$

- $y = 0, 0 < x < H$:

$$\partial^2 T_3 / \partial y^2 = 0; \quad (7)$$

- $y = Y_1, 0 < x < H$:

$$-\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial y}, \quad T_2 = T_3; \quad (8)$$

- $y = Y_2, 0 < x < H$:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} - Q_e W_e, \quad T_1 = T_2; \quad (9)$$

- $y = L, 0 < x < H$:

$$T = T_f, \quad (10)$$

где Q_e — тепловой эффект испарения, $\text{Дж}/\text{кг}$;
 W_e — массовая скорость испарения, $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$.

Для вычисления массовой скорости испарения использовалось выражение

$$W_e = \phi \rho_2 V_d, \quad (11)$$

где ϕ — объемная доля жидкости в “водяном снаряде”.

Характерный продольный размер “снаряда” L_d пересчитывался на каждом временном шаге аналогично моделям, описанным в [4–10]. Поперечный размер H_d считался постоянным.

При постановке задачи не рассматривались процессы вдува водяных паров с нижней ($y = Y_2, 0 < x < H$) и вертикальных ($x = 0, x = H, Y_1 < y < Y_2$) границ “водяного снаряда” в зоны, разделяющие воду и пламя. При учете этих процессов испарение происходит менее интенсивно (вдув паров значительно снижает интенсивность тепловых потоков к поверхностям на границе фазового перехода) при прочих неизменных условиях. Поэтому сформулированная система уравнений (1)–(3) и краевых условий (4)–(10) описывает теплоперенос в рассматриваемой системе (см. рис. 1) при максимально возможных скоростях испарения воды. Все нижеприведенные оценки по эффективности использования теплоты испарения воды являются верхними. В реальной практике коэффициент полезного использования тушащей жидкости может быть существенно меньше.

Система нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных (1)–(3) с начальными и граничными условиями (4)–(10) решалась с использованием методов и алгоритмов, описанных в [4–10]. Для оценки достоверности результатов численного моделирования аналогично [11–14] выполнялась проверка консервативности используемой разностной схемы.

Результаты и их обсуждение

Численные исследования выполнялись при следующих типичных значениях параметров процесса [15–19]: начальная температура воды $T_0 = 300$ К; температура продуктов сгорания лесных горючих материалов принималась равной средней температуре пожара $T_f = 1170$ К; тепловой эффект испарения воды $Q_e = 2,26$ МДж/кг; начальные размеры “снаряда” $H_d = 1$ м, $L_d = 0,1$ м; размеры области решения $H = 1$ м, $L = 15$ м; скорость движения “снаряда” в отличие от [4–10] принималась постоянной: $V_d = 0,5 \div 5,0$ м/с. Теплофизические характеристики воды, водяных паров и продуктов сгорания лесных горючих материалов приведены в [16–19].

При анализе макроскопических закономерностей движения “водяного снаряда” через высокотемпературные продукты сгорания с использованием сформулированной модели теплопереноса (1)–(11) одной из задач было определение значений ϕ , при которых температура на границе раздела фаз *жидкость* – *продукты сгорания* находится в пределах реально возможных (не выше температуры кипения воды при нормальном давлении). Приведенные в [4–10] изотермы показывают, что температура T_e на границах фазового перехода при движении одиночной и нескольких капель воды через высокотемпературные продукты сгорания составляет около 373 К. Небольшие отклонения температур (до 5 К) на границе *жидкость* – *газ* для отличающихся одна от другой моделей теплопереноса [4–10] можно объяснить изменением скоростей движения капель под действием сил тяжести и сопротивления в достаточно широком диапазоне (от 0,5 до 5,0 м/с) при $0 < t < t_d$, а также различным положением границ вдува паров воды относительно направления движения (фронтальная, задняя и боковые поверхности капель). В качестве первого приближения с использованием рассматриваемой модели (см. рис. 1) проанализированы условия испарения “снаряда”, движущегося с постоянной скоростью $V_d = 1$ м/с.

Граничные условия (9) и выражение для массовой скорости испарения (11) показывают, что температура на границе *водяной снаряд* – *продукты сгорания* может быть близка к некоторому постоянному во времени ($0 < t < t_d$) значению T_e в условиях $V_d = \text{const}$ только при $W_e = \text{const}$ ($\phi = \text{const}$). Установлено, что при $V_d = 1$ м/с объемная доля жидкости ϕ в “водяном снаряде”, полностью испаряющейся при его движении через пламя, составляет $0,2 \cdot 10^{-3}$. При таких условиях температура на границе раздела фаз T_e близка к 375 К, что хорошо коррелирует с результатами [4–10]. Представляет интерес оценка возможного изменения температуры T_e в процессе движения “снаряда” при определенном значении ϕ .

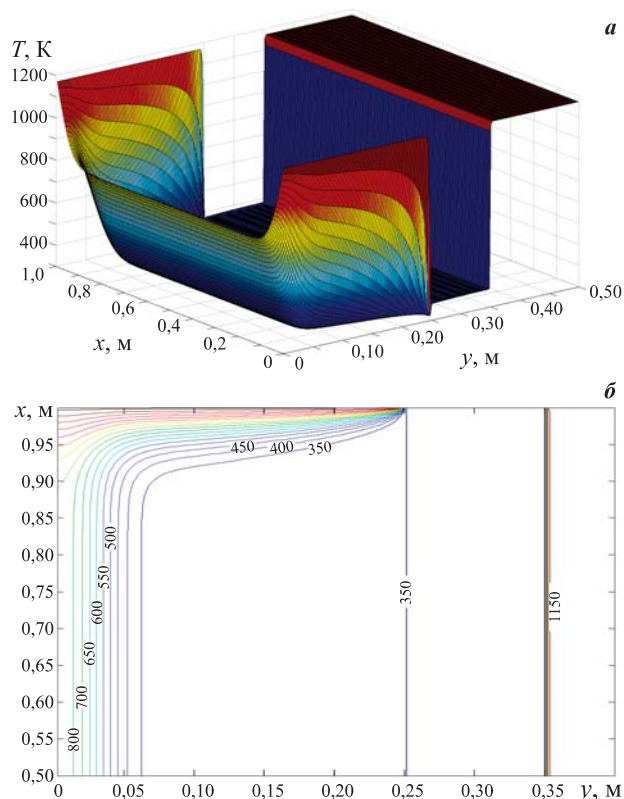


Рис. 2. Температурное поле (а) и изотермы (б) при $t = 0,25$ с и $\phi = 2 \cdot 10^{-4}$

На рис. 2 и 3 приведены температурные поля и изотермы для рассматриваемой системы (см. рис. 1) на начальном ($t = 0,25$ с) и конечном ($t = 10$ с) участках траектории движения “снаряда”. Так как средние значения высоты пламени для лесных пожаров составляют 10–15 м [20], можно считать, что времена $t \approx 10$ с при $V_d = 1$ м/с соответствуют конечным участкам траектории движения сбрасываемых “снарядов”. В результате анализа температурных полей, приведенных для времен, характеризующих начальный период и конечные времена движения “снаряда”, можно сделать вывод о выполнении условия $T_e \approx 375$ К при $0 < t < t_d$.

Установленное значение объемной доли жидкости в “снаряде” ($\phi = 0,2 \cdot 10^{-3}$) показывает, что для снижения температуры до минимально возможных значений достаточно очень малой доли жидкости в объеме “водяного снаряда”. Это можно объяснить высоким значением теплоты фазового перехода для воды — $Q_e = 2,26$ МДж/кг. При таком значении Q_e температура T_e вблизи границы фазового перехода, несмотря на высокие температуры продуктов сгорания T_f , принимает умеренные значения (см. рис. 3). Так как температура продуктов сгорания практически одинакова по высоте пламени ($T_1 = T_f$), условия испарения при $0 < t < t_d$ не меняются (убыль массы “снаряда” невелика и постоянна).

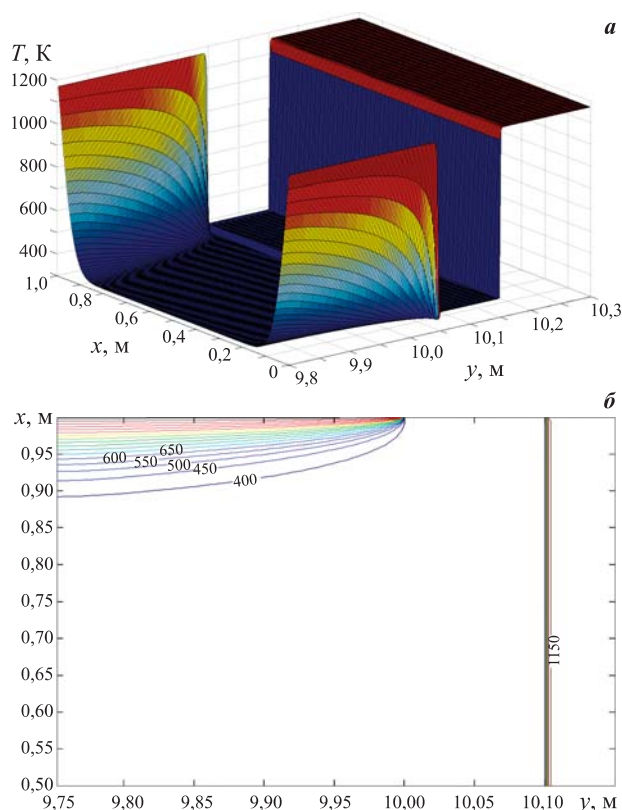


Рис. 3. Температурное поле (а) и изотермы (б) при $t = 10$ с и $\varphi = 2 \cdot 10^{-4}$

Из рис. 2 и 3 видно, что область относительно низких температур находится за “водяным снарядом”, т. е. “температурный” след сужается. Динамика изменения характерных размеров этой области показывает (см. рис. 2 и 3), что при прохождении водой даже половины пути относительно рассматриваемых высот пламени в начальной точке траектории движения температура смеси продуктов сгорания и водяных паров будет близка к T_f . Это иллюстрирует низкую эффективность сбрасывания воды в зону горения с малыми временами непосредственного испарения.

Изотермы, приведенные на рис. 2 и 3, а также температурные поля и поля концентраций паров воды [4–10] показывают целесообразность увеличения площади испарения воды в “снаряде” за счет ее распыления. В таких условиях существенно возрастает влияние процесса испарения на температуру в следе движения “снаряда”, а также движение вдуваемых паров воды [4–10]. Определяющую роль при этом играет как теплообмен с холодными водяными парами, так и вытеснение ими окислителя, газообразных компонентов горючего и продуктов сгорания.

Анализ результатов проведенного численного моделирования процесса теплопереноса в области прохода “водяного снаряда” через пламя лесного пожара показывает, что эффективность использования теплоты испарения воды в типичных условиях тушения составляет менее 0,1 %. Если учесть, что выполненные оценки являются верхними, то можно сделать вывод о целесообразности совершенствования технологий тушения лесных пожаров с использованием авиации (в первую очередь за счет распыления воды).

Заключение

Предложен новый подход к оценке эффективности использования теплоты испарения воды в типичных условиях тушения лесных пожаров. По результатам численного моделирования процессов теплопереноса в области прохода “водяного снаряда” через пламя можно сделать вывод о низкой эффективности использования тушащей жидкости в рамках современных технологий тушения лесных пожаров с применением авиации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (МК-620.2012.8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хасанов И. Р., Москвиллин Е. А. Авиационные методы тушения крупных лесных пожаров // Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков : материалы XV научно-практической конференции. — М. : ВНИИПО, 1999. — Ч. 1. — С. 300–301.
2. Гориков В. С., Москвиллин Е. А., Хасанов И. Р. Оценка параметров тушения лесных пожаров авиационными средствами // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников : сборник тезисов научно-практической конференции. — М. : ИИЦ ВНИИ ГОЧС, 2001. — С. 34–35.
3. Ковалев А. Н., Журавлева Л. А. Перспективные направления тушения низовых лесных и степных пожаров // Научная жизнь. — 2012. — № 4. — С. 153–157.
4. Волков Р. С., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численная оценка оптимальных размеров капель воды в условиях ее распыления средствами пожаротушения в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 74–78.
5. Стрижак П. А. Численный анализ процесса испарения капли, движущейся в струе воды через высокоскоростные продукты сгорания // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 17–22.

6. Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование тепломассопереноса при движении “тандема” каплей воды в высокотемпературной газовой среде // Тепловые процессы в технике. — 2012. — Т. 4, № 12. — С. 531–538.
7. Стрижак П. А. Численное исследование условий испарения совокупности каплей воды при движении в высокотемпературной газовой среде // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 8. — С. 26–31.
8. Волков Р. С., Высокоморная О. В., Стрижак П. А. Численное исследование условий взаимодействия диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Безопасность труда в промышленности. — 2012. — № 10. — С. 74–79.
9. Андреев Г. Г., Глушков Д. О., Панин В. Ф., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при взаимодействии диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания // Бутлеровские сообщения. — 2012. — Т. 31, № 8. — С. 86–94.
10. Высокоморная О. В., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Тепломассоперенос при движении каплей воды в высокотемпературной газовой среде // Инженерно-физический журнал. — 2013. — Т. 86, № 1. — С. 59–65.
11. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное решение задачи воспламенения жидкого пожароопасного вещества одиночной “горячей” частицей // Физика горения и взрыва. — 2009. — Т. 45, № 5. — С. 42–50.
12. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle-liquid fuel interface on the ignition characteristics // Journal of Engineering Thermophysics. — 2009. — Vol. 18, No. 2. — P. 162–167.
13. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Transient heat and mass transfer at the ignition of vapor and gas mixture by a moving hot particle // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2010. — Vol. 53. — P. 923–930.
14. Strizhak P. A. Characteristics of heat and mass transfer at ignition of a thin film of condensed liquid substance by hot particles of different configuration // Journal of Engineering Thermophysics. — 2011. — Vol. 20, No. 4. — P. 459–467.
15. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.
16. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
17. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М. : ООО “Старс”, 2006. — 720 с.
18. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.
19. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 2. — 896 с.
20. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. — М. : ДЭКС-ПРЕСС, 2004. — 312 с.

Материал поступил в редакцию 27 марта 2013 г.

English

EVALUATION OF EFFICIENCY USING WATER EVAPORATION HEAT AT THE FOREST FIRE QUENCHING

KUZNETSOV G. V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, National Research Tomsk Polytechnic University
(Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: elf@tpu.ru)

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

ABSTRACT

The heat transfer model is presented in article. This model allows a numerical evaluation of efficiency using water evaporation heat at the forest fire quenching. Maximum values of volume fraction for

liquid, which evaporates from “water shell” at its driving through the flame, are determined at the result of numerical modeling complex heat transfer processes. The conditions for movement of water through the flames using isothermal and temperature fields are analyzed. The characteristic times of resizing “temperature” traces for “water shells” are determined. It is substantiated that to increase the geometric characteristics of the “temperature” traces appropriate increase of water evaporation area in the “shell” due to its spray. It is shown that the upper bounds for efficiency using water evaporation heat in typical fire is less than 0.1 %. The conclusions about the desirability of improved technologies forest fires from aircraft (primarily by spraying of quenching water) are formulated.

Keywords: forest fires; quenching; “water shell”; sprayed water; evaporation heat; efficiency; simulation.

REFERENCES

1. Khasanov I. R., Moskvilin Ye. A. Aviatsionnyye metody tusheniya krupnykh lesnykh pozharov [Aviation methods extinguishing large forest fires]. *Problemy goreniya i tusheniya pozharov na rubezhe vekov: materialy XV nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems burning and extinguishing fires at the turn of the century. Proc. XV Scientific and Practical Conference]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1999, part 1, pp. 300–301.
2. Gorshkov B. C., Moskvilin Ye. A., Khasanov I. R. Otsenka parametrov tusheniya lesnykh pozharov aviatsionnymi sredstvami [Parameter estimation forest fire fighting air assets]. *Problemy prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy i ikh istochnikov: sbornik tezisov nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The problem of forecasting of emergency situations and their sources: book of abstracts of scientific and practical conference]. Moscow, All-Russian Research Institute on Problems of Civil Defence and Emergencies of Emercom of Russia Publ., 2001, pp. 34–35.
3. Kovalev A. N., Zhuravleva L. A. Perspektivnyye napravleniya tusheniya nizovykh lesnykh i stepnykh pozharov [Perspective directions of quenching fire ground forest and grassland fire]. *Nauchnaya zhizn — Academic Life*, 2012, no. 4, pp. 153–157.
4. Volkov R. S., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennaya otsenka optimalnykh razmerov kapel vody v usloviyakh yeye raspyleniya sredstvami pozharotusheniya v pomeshcheniyakh [Numerical estimation of optimum sizes for water drops at the conditions of its dispersion by firefighting devices at places]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 74–78.
5. Strizhak P. A. Chislennyy analiz protsessa ispareniya kapli, dvizhushchey v struye vody cherez vysokoskorostnyye produkty sgoraniya [Numerical analysis of evaporation process for droplet moving at the water jet through high temperature combustion products]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 17–22.
6. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye teplomassoperenosa pri dvizhenii “tandema” kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical investigation of heat and mass transfer during the motion of the “tandem” of water droplets in the high temperature gas phase]. *Teplovyye processy v tekhnike — Thermal Processes in Engineering*, 2012, vol. 4, no. 12, pp. 531–538.
7. Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy ispareniya sovokupnosti kapel vody pri dvizhenii v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Numerical investigation of evaporation conditions for set of water drops at the moving after high temperature gas mixture]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 8, pp. 26–31.
8. Volkov R. S., Vysokomornaya O. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye usloviy vzaimodeystviya dispergirovannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Numerical investigation of the conditions of interaction of dispersed phlegmatizer burning with high temperature combustion]. *Bezopasnost truda v promyshlennosti — Safety in Industry*, 2012, no. 10, pp. 74–79.
9. Andreev G. G., Glushkov D. O., Panin V. F., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri vzaimodeystvii dispergirovannogo flegmatizatora goreniya s vysokotemperaturnymi produktami sgoraniya [Heat and mass transfer in the interaction of dispersed phlegmatizer burning with high temperature combustion]. *Butlerovskiyee soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2012, vol. 31, no. 8, pp. 86–94.
10. Vysokomornaya O. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Teplomassoperenos pri dvizhenii kapel vody v vysokotemperaturnoy gazovoy srede [Heat and mass transfer at the motion of water droplets in a high gas phase]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics*, 2013, vol. 86, no. 1, pp. 59–65.

11. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye resheniye zadachi vosplamneniya zhidkogo požaro-opasnogo veshchestva odinochnoy "goryachey" chastitsey [Numerical solution to the ignition of liquid fire hazardous substances single "hot" particle]. *Fizika goreniya i vzryva — Physics of Combustion and Explosion*, 2009, vol. 45, no. 5, pp. 42–50.
12. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle-liquid fuel interface on the ignition characteristics. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2009, vol. 18, no. 2, pp. 162–167.
13. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Transient heat and mass transfer at the ignition of vapor and gas mixture by a moving hot particle. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2010, vol. 53, pp. 923–930.
14. Strizhak P. A. Characteristics of heat and mass transfer at ignition of a thin film of condensed liquid substance by hot particles of different configuration. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 459–467.
15. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting. Reference]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part 1, 713 p.
16. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh požarov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Prediction of forest fires and their environmental impacts]. Novosibirsk, Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. 301 p.
17. Vargaftik N. B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Reference for thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, Stars Publ., 2006. 720 p.
18. Yurenev V. N., Lebedev P. D. (eds.) *Teplotekhnicheskii spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975. Vol. 1, 743 p.
19. Yurenev V. N., Lebedev P. D. (eds.) *Teplotekhnicheskii spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975. Vol. 2, 896 p.
20. Vorobyev Yu. L., Akimov V. A., Sokolov Yu. I. *Lesnyye požary na territorii Rossii: sostoyaniye i problemy* [Forest fires in Russia: conditions and problems]. Moscow, DEKS-PRESS Publ., 2004. 312 p.



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

А. Г. ВИНОГРАДОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры процессов горения Академии пожарной безопасности имени Героев Чернобыля (Украина, 18034, г. Черкассы, ул. Оноприенко, 8; e-mail: vin_ag@mail.ru)

УДК 536.3:535.34:614.838.441

УЧЕТ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ КАПЛИ ВОДЫ

На основе ранее разработанной модели процесса экранирования водяной завесой лучистого теплового потока создана методика расчетов коэффициента пропускания сферической капли воды для основных типов спектров теплового излучения пожаров. Эти спектры представлены в виде линейной комбинации двух основных составляющих: 1) спектра абсолютно черного тела; 2) молекулярных полос газообразных продуктов горения. В результате расчетов найдено, что коэффициент пропускания капель уменьшается при увеличении вклада молекулярных полос в спектр излучения пожара. Выполнены количественные расчеты для заданных параметров.

Ключевые слова: водяная завеса; коэффициент пропускания; спектр излучения пожара.

Введение

Для защиты от теплового излучения в зоне пожара часто используются водяные завесы (распыленные водяные струи). Их существенными преимуществами перед другими средствами являются простота создания, оперативность реагирования в случае возникновения пожара, экологическая безопасность, возможность создания практически в любом месте.

В то же время следует отметить отсутствие в научной литературе практических расчетных методов, позволяющих определить оптимальные параметры водяных завес (диаметр и концентрацию капель, толщину завесы и др.) для решения задачи теплового экранирования в том или ином случае. Отсутствуют также практические методы расчета экранирующих свойств водяных завес при заданных технических параметрах. Безусловно, это является одним из факторов, препятствующих более широкому внедрению в практику этого перспективного противопожарного средства.

Следует отметить, что тема взаимодействия теплового излучения с распыленной водой является достаточно популярной среди исследователей: в последние 20–25 лет на эту тему опубликовано большое количество научных работ, в том числе [1–8]. Однако они, как правило, имеют академический характер и не могут быть использованы для практических расчетов. В частности, расчеты экранирующих свойств водяных завес в работах [5–8] выполнены для таких параметров распыленной воды (низкая концентрация капель и недостаточная толщина завесы), при которых поглощение теплового излучения в каплях практически не влияет на коэффициент

пропускания водяной завесы. Согласно результатам расчетов [5–8] наиболее существенное влияние на форму спектра пропускания завесы оказывают ее газообразные компоненты (углекислый газ и водяной пар), что противоречит самой идее теплового экранирования с помощью распыленной воды. В работах [1–4] учтено поглощение излучения в каплях, но методика расчетов требует применения мощных вычислительных средств, и математические модели не доведены до получения расчетных формул, удобных для практического применения.

Решить указанную задачу позволяет недавно опубликованная математическая модель процесса экранирования водяной завесой лучистого теплового потока [9–12]. На ее основе получены расчетные формулы для определения интегрального коэффициента пропускания теплового излучения в зависимости от параметров водяной завесы. Однако данная модель разработана только для двух частных случаев относительно исходного спектра теплового излучения: 1) монохроматического излучения; 2) излучения абсолютно черного тела.

Согласно литературным данным [13–21] второй из названных частных случаев реализуется лишь при некоторых типах пожаров, и, следовательно, указанная математическая модель может быть использована для расчета теплового экранирования водяными завесами только для этих случаев. Для пожаров других типов, со спектрами теплового излучения, отличающимися от спектра абсолютно черного тела, эта модель требует соответствующей доработки. Таким образом, необходимо предварительно, на основе литературных данных, выполнить общий анализ

и определить основные типы спектров теплового излучения пожара, задать их формальные признаки и математические формулы для их моделирования. Далее на основе математической модели необходимо разработать соответствующие расчетные методики и выполнить численные расчеты.

Постановка задачи

Задача заключается в том, чтобы на основе ранее разработанной математической модели процесса экранирования водяной завесой лучистого теплового потока создать расчетные методики и выполнить численные расчеты для основных типов спектров электромагнитного излучения пожаров.

Основные типы спектров электромагнитного излучения пожаров

Спектральный диапазон излучения пламени пожара в подавляющем большинстве случаев соответствует ближнему и среднему инфракрасному диапазонам спектра, т. е. охватывает интервал длин волн от 0,8 до 15 мкм. Это не значит, что пламя не излучает в других диапазонах, однако основное количество излученной мощности (более 95 %) приходится именно на этот интервал.

Спектральный состав излучения пламени пожара имеет две составляющие.

Первая составляющая характеризуется непрерывным спектром (тепловое излучение) и большей частью обусловлена свечением частиц веществ, находящихся в твердой или жидкой фазе. При этом наиболее важным является непрерывный спектр горячих частиц углерода (сажи), а также поверхности горящего твердого топлива.

Вторая составляющая спектра обусловлена излучением возбужденных продуктов горения (хемилюминесценция) и имеет спектр, состоящий из отдельных линий и полос. При этом линейчатый спектр связан с испусканием света свободными атомами, где каждая линия обусловлена переходом электрона из одного стационарного состояния в другое, а спектральные полосы соответствуют электронным переходам в молекулах.

Относительная интенсивность обеих составляющих определяется типом горючего вещества, а также режимом его горения. Некоторые закономерности можно определить на основе анализа результатов опубликованных экспериментальных исследований.

Излучение от горячих твердых поверхностей или от частиц сажи в горячем слое дыма имеет спектр, близкий к спектру абсолютно черного тела (АЧТ). Спектральная светимость АЧТ $M_{b,v}$ определяется выражением (формула Планка):

$$M_{b,v} = \frac{2\pi h c_0^3 v^3}{\exp\left(\frac{hc_0 v}{k_B T}\right) - 1}, \quad (1)$$

где h — постоянная Планка, Дж·с;

c_0 — скорость света в вакууме, м/с;

v — волновое число (обратная длина волны), м⁻¹;

T — абсолютная температура, К;

k_B — постоянная Больцмана, Дж/К.

Выражение для спектральной светимости АЧТ как функции длины волны λ имеет вид:

$$M_{b,\lambda} = \frac{2\pi h c_0}{\lambda^5 \left(\exp\left(\frac{hc_0}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right)}. \quad (2)$$

Вторая составляющая излучения из пламени пожара, как упоминалось выше, содержит линии излучения атомов и молекулярные полосы. Излучением атомов в данном случае можно пренебречь по причине их ничтожно малого вклада в общую мощность излучения пожара. Молекулярная полоса — это относительно узкий интервал длин волн (волновых чисел), в котором излучение испускают молекулы определенного типа. Наибольший вклад в спектр излучения пожаров дают молекулярные полосы углекислого газа и воды. Самые сильные полосы CO₂ расположены при длинах волн 4,4 мкм (2300 см⁻¹) и 2,7 мкм (3700 см⁻¹) [14, 15], тогда как наиболее сильные полосы H₂O — 2,8 мкм (3600 см⁻¹), 2,5 мкм (3800 см⁻¹), 1,9 мкм (5300 см⁻¹) [14, 16]. Полосы H₂O при длинах волн 2,8 и 2,5 мкм часто видны как одна полоса, соответствующая длине волны 2,7 мкм из-за ограниченного спектрального разрешения при измерениях. Накладываясь на соответствующую полосу CO₂, они дают общий пик в спектре. Существуют и другие полосы, как, например, полоса H₂O — 6,3 мкм (1600 см⁻¹), но они, будучи слабыми, дают малый вклад в общее излучение [15]. Излучение от гомоядерных молекул, таких как O₂ или N₂, также является очень слабым из-за их недостаточных электрических дипольных моментов и не оказывает существенного влияния на общее излучение [13].

Для чистого пламени в присутствии достаточного количества кислорода доминируют молекулярные полосы, а излучение АЧТ пренебрежимо мало из-за малого количества сажи. Пример такого спектра (зависимость спектральной светимости M_v от волнового числа v) представлен в работе [16] и на рис. 1. Здесь показан спектр стехиометрического пламени метан — воздух при давлении 2 бар. Можно видеть, что излучение пламени соответствует молекулярным полосам CO₂ и H₂O, тогда как излучение АЧТ практически отсутствует. Это связано с отсутствием сажи в пламени, что свидетель-

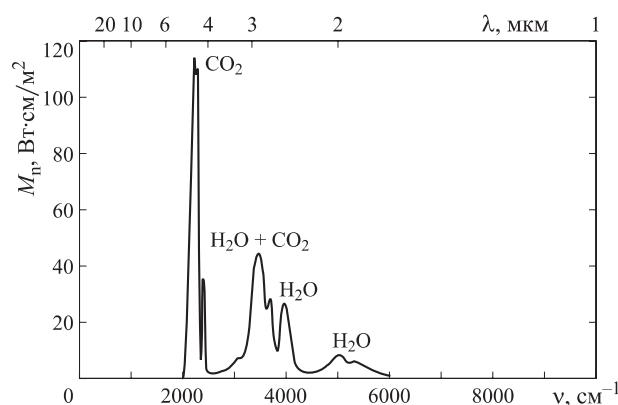


Рис. 1. Спектр излучения пламени при стехиометрическом горении метана

ствует о поступлении достаточного количества кислорода во все зоны факела огня и полном сгорании метана.

Для получения спектров излучения пламени такого типа, с богатыми спектральными структурами молекулярных групп и незначительным вкладом от излучения АЧТ, необходимо горение хорошо перемешанной стехиометрической смеси горючего вещества и окислителя (кислорода). На практике этот вид пожара встречается достаточно редко.

Гораздо чаще спектр излучения пожара содержит и спектр АЧТ, и молекулярные полосы в определенном соотношении, которое зависит от вида горючего вещества, условий его горения (недостаток или избыток кислорода), а также существенно изменяется в различных зонах очага пожара. Примеры таких спектров представлены на рис. 2.

Спектр излучения пламени на рис. 2,а получен при горении полиметилметакрилата (оргстекло) [18]. Он состоит из двух основных вкладов: 1) спектра АЧТ при температуре около 684 К; 2) молекулярной полосы CO_2 при волновом числе $\nu = 2300 \text{ см}^{-1}$. Кроме того, незначительное влияние на общий вид спектра оказывают группы молекулярных полос CO_2 и H_2O , соответствующие волновым числам порядка 1600 и 3700 см^{-1} . Попытка авторов [18] увязать общий вид спектра с излучением АЧТ при температуре 1105 К представляется нелогичной.

На рис. 2,б представлены результаты исследования, в котором проводилось измерение спектров излучения не от всего очага пожара, а локально от его разных зон. В данном случае исследовалось излучение от горения растительного топлива (виноградной лозы) [19]. Оказалось, что спектр излучения от поверхности горящих растений содержит в основном излучение АЧТ с небольшим вкладом молекулярных полос. В то же время спектр пламени над горящими растениями состоит практически из молекулярных полос.

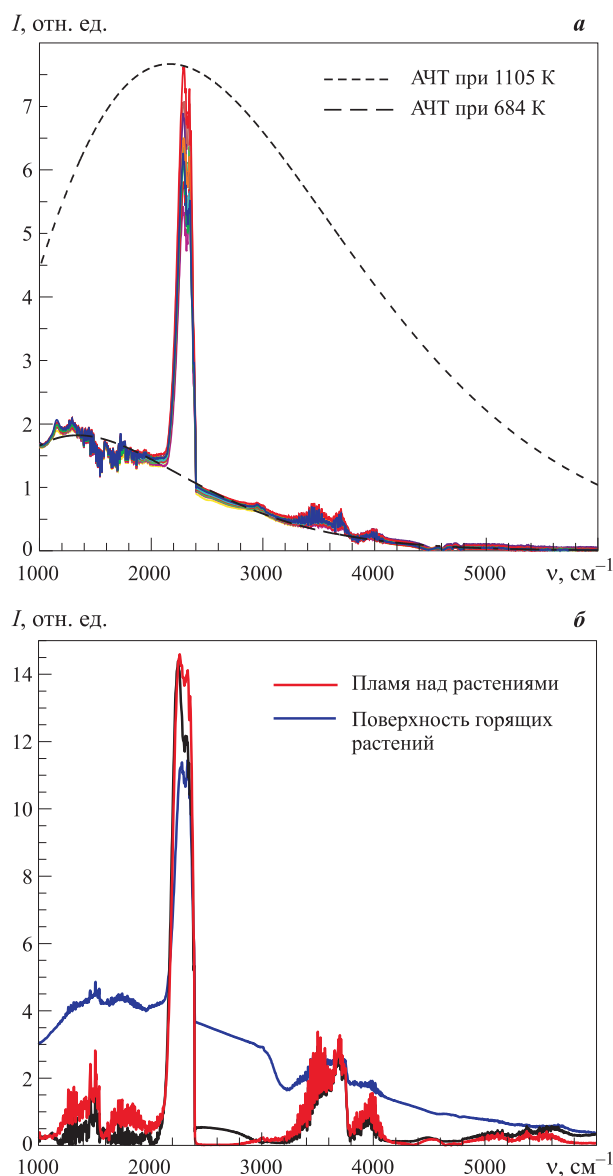


Рис. 2. Типичные спектры излучения очага пожара при наличии вкладов излучения АЧТ и молекулярных полос: а — спектр горения полиметилметакрилата; б — спектры разных зон при горении растительного топлива

Исследования спектров излучения коптящего пламени некоторых горючих жидкостей показали, что наличие частиц сажи в дымовых газах увеличивает вклад спектра АЧТ в общий спектр пламени [20, 21]. Форма спектра определяется температурой пламени, а относительный вклад излучения АЧТ зависит от толщины слоя дымовых газов и концентрации сажи.

Таким образом, анализ литературных данных по спектрам излучения пожаров различных типов позволяет сделать следующие выводы:

1. В большинстве случаев форму этих спектров можно определить как сумму двух основных составляющих: 1) спектра излучения АЧТ; 2) молекулярных полос газообразных продуктов горения.

2. Существенное влияние на форму спектра излучения могут оказывать две молекулярные полосы, расположенные при длинах волн 4,4 мкм (CO_2) и 2,7 мкм ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$).

Следует учесть, что газы, являющиеся источниками данных молекулярных полос, т. е. CO_2 и H_2O , не только содержатся в продуктах горения, но и являются компонентами обычного атмосферного воздуха. При обычной температуре они не испускают излучения, а наоборот, поглощают его при тех же (указанных выше) длинах волн. Поэтому при распространении теплового излучения от пожара на большие расстояния (десятки метров) пики, обусловленные излучением молекулярных полос CO_2 и H_2O , поглощаются в атмосфере и уменьшаются по величине. При достаточно больших расстояниях на общем фоне спектра АЧТ вместо пиков при этих же длинах волн могут образоваться впадины, глубина которых увеличивается с ростом расстояния [13]. В дальнейшем будем считать, что расстояния от пожара, на которые распространяется излучение, не настолько велики, чтобы существенно влиять на вид спектра излучения.

На основе представленного анализа для большинства типов пожаров могут быть предложены три типовых спектра излучения, которые могут быть использованы для математического моделирования пожаров:

- 1) спектр АЧТ (излучение от поверхности горящего твердого топлива и частиц сажи);
- 2) комбинация спектра АЧТ и молекулярных полос (горение жидкого топлива, коптящее пламя);
- 3) молекулярные полосы (чистое углеводородное пламя).

На основе данной классификации спектр излучения любого пожара (зависимость спектральной светимости M_λ от длины волны λ) можно представить в виде:

$$M_\lambda = (1 - \psi) M_{b,\lambda} + \psi M_{m,\lambda}, \quad (3)$$

где ψ — весовой коэффициент, определяющий соотношение вкладов $M_{b,\lambda}$ (спектр АЧТ) и $M_{m,\lambda}$ (молекулярные полосы). При $\psi = 0$ получим типовой спектр 1, при $0 < \psi < 1$ — типовой спектр 2, при $\psi = 1$ — типовой спектр 3.

Для расчетов $M_{b,\lambda}$ используем соотношение (2) при соответствующей температуре T :

$$M_{b,\lambda} = \frac{M_{b0}}{\lambda^5 \left(\exp \left(\frac{hc_0}{\lambda k_B T} \right) - 1 \right)}, \quad (4)$$

где M_{b0} — нормирующий коэффициент, определенный из условия нормирования:

$$\int_0^\infty M_{b,\lambda} d\lambda = 1.$$

Согласно рекомендациям [13], основанным на данных анализа ряда опубликованных экспериментальных исследований пожаров, для спектров АЧТ типичными являются следующие значения температуры: $T = 700$ К для излучения поверхности горящего твердого топлива; $T = 1200$ К для излучения частиц сажи в горячих дымовых газах. Понятно, что эти значения температуры являются ориентировочными и при разных условиях горения могут изменяться весьма существенно.

Для расчетов вклада $M_{m,\lambda}$ (молекулярные полосы) в [13] предлагается использовать две основные молекулярные полосы, расположенные при длинах волн 4,4 мкм (CO_2) и 2,7 мкм ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$), в виде линейной комбинации лоренцианов с соотношением интенсивностей 25 : 1:

$$M_{m,\lambda} = M_{m0} \left(\frac{(\Delta\lambda_1)^2}{(\lambda - \lambda_{01})^2 + (\Delta\lambda_1)^2} + \frac{0,04(\Delta\lambda_2)^2}{(\lambda - \lambda_{02})^2 + (\Delta\lambda_2)^2} \right), \quad (5)$$

где $\lambda_{01} = 4,4$ мкм; $\lambda_{02} = 2,7$ мкм — положение центров полос;

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

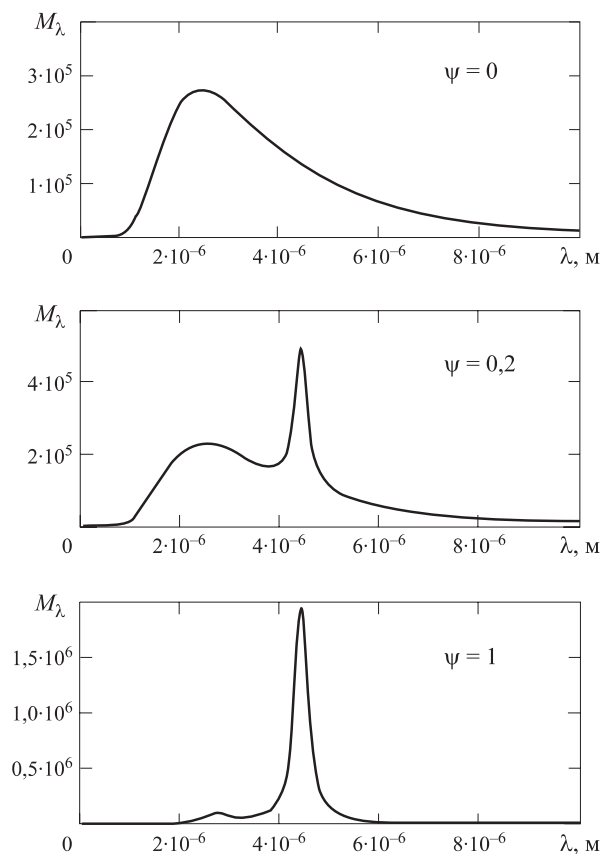


Рис. 3. Типовые модельные спектры излучения пожаров для разных значений параметра ψ

M_{m0} — нормирующий коэффициент, определенный из условия нормирования:

$$\int_0^{\infty} M_{m,\lambda} d\lambda = 1.$$

На рис. 3 представлены типовые спектры, рассчитанные по формулам (3)–(5) при разных значениях параметра ψ .

Таким образом, поставленную в данной работе задачу можно конкретизировать следующим образом. Используя для задания спектров излучения соотношения (3)–(5), необходимо исследовать влияние параметра ψ на коэффициент пропускания сферических капель воды для теплового излучения пожаров.

Расчет коэффициента пропускания сферических капель воды

Воспользуемся математической моделью [9], в которой получена расчетная формула для коэффициента пропускания монодисперсной водяной завесы с диаметром капель D :

$$H = \exp \left[-0,934 (1 - \eta) n_0 \frac{\pi D^2}{4} l \right], \quad (6)$$

где n_0 — счетная концентрация капель, м^{-3} ;

l — толщина завесы, м;

η — коэффициент пропускания сферической капли воды;

$$\eta = W_{out} / W_{in}; \quad (7)$$

W_{in} , W_{out} — интегральные потоки теплового излучения, соответственно входящий в каплю и выходящий из нее; рассчитываются интегрированием спектральных потоков по всем длинам волн:

$$W_{in} = \int_0^{\infty} W_{in,\lambda} d\lambda; \quad (8)$$

$$W_{out} = \int_0^{\infty} W_{out,\lambda} d\lambda. \quad (9)$$

Входящий спектральный поток (поток для некоторой длины волны λ) прямо пропорционален спектральной светимости очага пожара:

$$W_{in,\lambda} = K M_{\lambda}, \quad (10)$$

где K — коэффициент пропорциональности, зависящий от геометрии процесса.

Выходящий спектральный поток определяется по формуле [10]:

$$W_{out,\lambda} = W_{in,\lambda} e^{-0,84 \alpha_{\lambda} D}, \quad (11)$$

где α_{λ} — коэффициент поглощения воды, имеющий сложную зависимость от длины волны излучения, м^{-1} .

Таким образом, коэффициент пропускания капли рассчитывается по формуле

$$\eta = \frac{\int_0^{\infty} M_{\lambda} e^{-0,84 \alpha_{\lambda} D} d\lambda}{\int_0^{\infty} M_{\lambda} d\lambda}. \quad (12)$$

На рис. 4 приведен конкретный пример расчета спектров входящего и выходящего излучений при $\psi = 0,2$; $D = 0,1$ мм; $T = 1200$ К. В соответствии с (12) коэффициент пропускания капли равен отношению площади под кривой $W_{out,\lambda}$ (заштрихованная площадь) к площади под кривой $W_{in,\lambda}$. Спектры нормированы на высоту наибольшего максимума. На рис. 4 представлена также зависимость коэффициента поглощения воды α_{λ} от длины волны (в произвольном масштабе).

Из рис. 4 видно, что пик молекулярной полосы CO_2 при $\lambda = 4,4$ мкм почти совпадает с одним из пиков коэффициента поглощения воды, вследствие чего он поглощается в капле гораздо сильнее, чем коротковолновая часть спектра АЧТ. Это является причиной того, что водяная завеса экранирует излучение от пламени со спектром молекулярных полос намного эффективнее, чем излучение со спектром АЧТ.

Подобные расчеты были выполнены для разных сочетаний параметров ψ и D при $T = 1200$ К (в соответствии с рекомендациями [13]). Интервал интегрирования был ограничен $0 < \lambda < 10$ мкм, что не повлияло существенно на результаты расчетов. На рис. 5 представлены спектры излучения пожаров, для которых выполнялись расчеты коэффициентов пропускания капель. Они рассчитаны с помощью соотношений (3)–(5) и соответствуют значениям параметра ψ , указанным на рис. 5.

Рассчитанные графики зависимостей коэффициента пропускания капель от их диаметра при данных значениях параметра ψ представлены на рис. 6. Диаметры капель при расчетах изменялись от 0,05 до 1,5 мм, что перекрывает диапазон возможных раз-

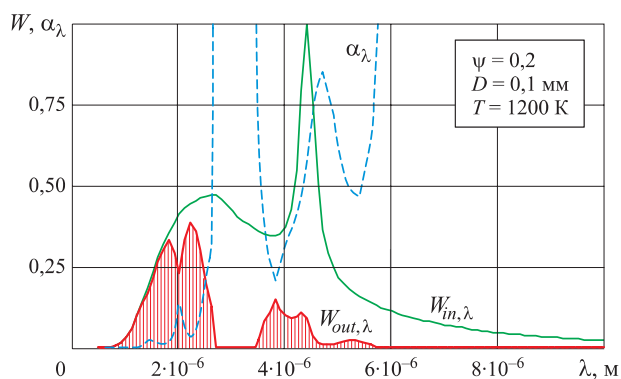
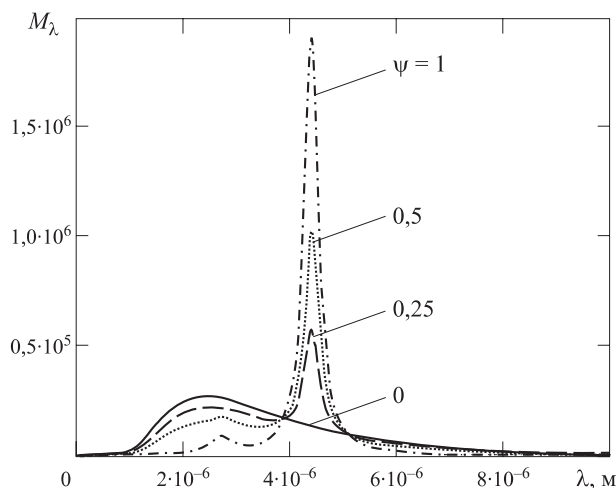
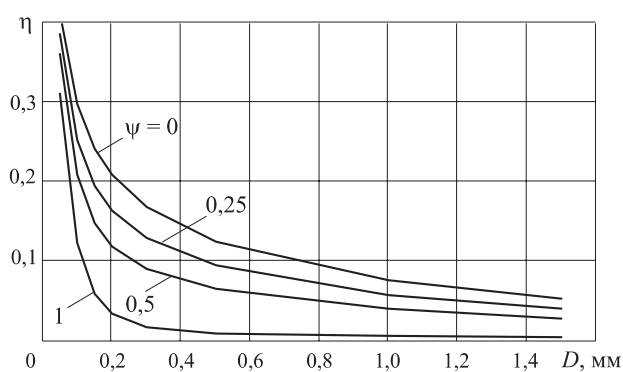


Рис. 4. Пример расчета спектров входящего и выходящего излучений при заданных значениях ψ , D и T

Рис. 5. Спектры излучения при разных значениях параметра ψ Рис. 6. Зависимости $\eta(D)$ при разных значениях ψ

меров капель для типичных противопожарных систем распыления воды. Расчеты были выполнены с помощью численного интегрирования по формуле (12) на основе соотношений (3)–(5), а также таблицы значений коэффициента поглощения воды α_λ , рассчитанных по данным работы [22].

Результаты, представленные на рис. 6, позволяют сделать следующий общий вывод: при увеличении вклада молекулярных полос в спектр излучения пожара (при возрастании ψ) коэффициент пропускания капель уменьшается. Таким образом, расчетные формулы для коэффициента пропускания сферической капли воды η , полученные в работе [10] в предположении о том, что тепловое излучение имеет спектр АЧТ, следует считать верхним пределом для данного коэффициента. Для реального спектра пожара в присутствии молекулярных полос излучения и при той же температуре фонового спектра АЧТ коэффициент пропускания капли будет иметь меньшее значение.

Функция аппроксимации для коэффициента пропускания капли

Расчет коэффициента пропускания капли (см. рис. 6) выполнен по методике, которая требует со-

ответствующей базы данных в виде таблицы значений коэффициента поглощения воды α_λ . Кроме того, необходимо использовать компьютерную программу для численного интегрирования в соответствии с формулой (12).

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

Функция аппроксимации получена в предположении о линейной зависимости коэффициента η от параметра ψ при фиксированном значении диаметра капли D . При этом условии получим:

$$\eta(\psi, D) = \eta(0, D) - \psi[\eta(0, D) - \eta(1, D)],$$

откуда

$$\eta(\psi, D) = (1 - \psi) \eta(0, D) + \psi \eta(1, D). \quad (13)$$

Данная функция используется для расчета коэффициента η при промежуточных значениях параметра ψ : $0 < \psi < 1$.

Для предельных значений ψ ($\psi = 0$ и $\psi = 1$) соответствующие функции $\eta(0, D)$ и $\eta(1, D)$ необходимо задать расчетными формулами (функциями аппроксимации).

Для $\psi = 0$ воспользуемся аппроксимацией, полученной в [10]:

$$\eta(0, D) = AD^B + C, \quad (14)$$

где A , B , C — коэффициенты, зависящие от температуры:

$$A = 1,25 \cdot 10^{-35} (T - 207,6)^{11,02}; \quad (15)$$

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

$$C = -9,59 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,002495T}. \quad (17)$$

В данном случае, следуя выполненному выше расчету (см. рис. 6), примем $T = 1200$ К. Однако при необходимости можно взять любое другое значение температуры в интервале от 700 до 1800 К, для которого получена аппроксимация (14)–(17).

При $T = 1200$ К получим:

$$A = 0,013; B = -0,371; C = -0,095. \quad (18)$$

Для зависимости $\eta(1, D)$ в данной работе была получена следующая функция аппроксимации:

$$\eta(1, D) = 1,8 \cdot 10^{-7} D^{-1,45} - 2 \cdot 10^{-3}. \quad (19)$$

Для проверки расчетных формул (13)–(19) был выполнен расчет с теми же параметрами, что и в представленном выше примере (см. рис. 6). Результаты точного расчета по формуле (12) и приближенного расчета, выполненного с помощью функций

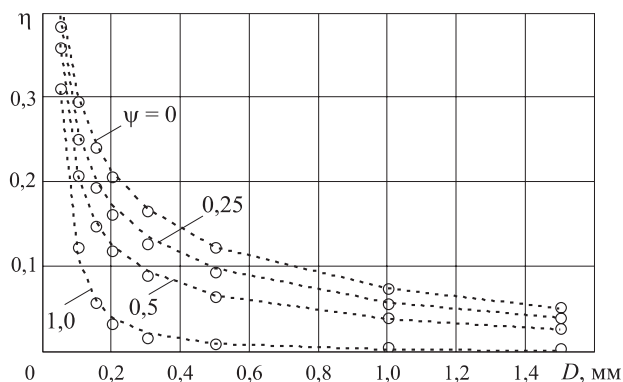


Рис. 7. Расчет зависимостей $\eta(D)$: — — — — — аппроксимация (13)–(19); $\circ$ — точный расчет по формуле (12)

аппроксимации, представлены в графическом виде на рис. 7. При их сравнении можно убедиться в том, что они достаточно близки.

Таким образом, формулы (13), (14), (18), (19) позволяют выполнить приближенный расчет коэффициента пропускания сферической капли воды заданного диаметра, если известен спектральный состав излучения пожара (задан параметр ψ). Расчет по упрощенным формулам производится с применением простейших математических операций, которые возможно выполнить даже с помощью калькулятора.

Выводы

На основе анализа литературных данных сделан вывод о том, что в большинстве случаев спектры излучения пожаров можно рассматривать как сумму двух основных составляющих: 1) спектра абсолютно черного тела; 2) молекулярных полос газообразных продуктов горения. Из всех молекулярных полос наиболее весомый вклад в эти спектры вносят молекулярные полосы углекислого газа и паров воды, расположенные при длинах волн 4,4 и 2,7 мкм.

Для математического моделирования пожаров предложены три типовых спектра излучения. Формула (3) для их задания представляет собой линейную комбинацию двух основных составляющих, относительный вклад которых задается параметром ψ .

Расчет коэффициента пропускания сферических капель воды для теплового излучения пожаров выполнен с помощью ранее разработанной математической модели. Получены расчетные графики зависимостей этого коэффициента от диаметра капель

для определенных значений параметра ψ . В результате расчетов найдено, что при возрастании ψ коэффициент пропускания капель уменьшается. Это связано с тем, что для длины волны 4,4 мкм, соответствующей основной молекулярной полосе излучения пожаров, коэффициент поглощения воды значительно больше, чем для коротковолновой части спектрального интервала, соответствующего излучению абсолютно черного тела при типичных температурах пожаров.

С целью упрощения расчетных процедур получены функции аппроксимации, с помощью которых расчет коэффициента пропускания капель сводится к применению простейших математических операций.

Для экспериментальной проверки полученных результатов предлагается измерить и сравнить коэффициенты пропускания водяной завесы для излучения пламени горения углеводородов (например, метан или природный газ) для двух случаев: при недостатке кислорода (копящее пламя) и при его избытке (полное сгорание без образования сажи). Во втором случае, очевидно, температура пламени будет выше, чем в первом. Согласно данным работы [9] коэффициент пропускания водяной завесы возрастает для излучения АЧТ с более высокой температурой. Но поскольку в спектре пламени при избытке кислорода практически отсутствует излучение АЧТ, а доминируют молекулярные полосы излучения (т. е. $\psi \approx 1$), коэффициент пропускания завесы должен быть ниже, чем для коптящего пламени.

Таким образом, по результатам данного эксперимента можно осуществить проверку разработанной в данной работе методики расчетов. Следует учесть, что данный эффект может оказать заметное влияние на результаты измерений только в том случае, если водяная завеса является достаточно плотной (коэффициент пропускания завесы существенно ниже единицы), а капли — достаточно мелкими (коэффициент пропускания капель существенно выше нуля).

Еще одним важным аспектом дальнейшей работы в данном направлении является разработка методики определения параметра ψ в каждом конкретном случае, поскольку только при этом условии представленная в данной работе методика расчетов приобретает практический интерес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ravigururajan T. S., Beltan M. R. A Model for attenuation of fire radiation through water droplets // Fire Safety J. — 1989. — Vol. 15. — P. 171–181.
2. Coppalle A., Nedelka D., Bauer B. Fire protection: water curtains // Fire Safety J. — 1993. — Vol. 20. — P. 241–255.
3. Yang W., Parker T., Ladouceur H. D., Kee R. J. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression // Fire Safety J. — 2004. — Vol. 39, No. 1. — P. 41–66.

4. *Buchlin J. -M.* Thermal shielding by water spray curtain // *J. Loss Prev. Process Industries.* — 2005. — Vol. 18, No. 4–6. — P. 423–432. URL : <http://www.iitk.ac.in/cbe/jpg/papersb/full%20papers/B-%2071.pdf> (дата обращения: 02.05.2013 г.).
5. *Collin A., Boulet P., Lacroix D., Jeandel G.* On radiative transfer in water spray curtains using the discrete ordinates method // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* — 2005. — Vol. 92. — P. 85–110.
6. *Boulet P., Collin A., Parent G.* Heat transfer through a water spray curtain under the effect of a strong radiative source // *Fire Safety J.* — 2006. — Vol. 41, No. 1. — P. 15–30. URL : <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/11/37/28/PDF/Boulet2006.pdf> (дата обращения: 02.05.2013 г.). doi: 10.1016/j.firesaf.2005.07.007.
7. *Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G.* Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield // *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications.* — 2010. — Vol. 57. — P. 537–553.
8. *Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoune K.* Contribution to Fire Protection of the LNG Storage Tank Using Water Curtain // *Int. J. Thermal & Environmental Engineering.* — 2011. — Vol. 2, No. 2. — P. 91–98.
9. *Виноградов А. Г.* Поглощение теплового излучения водяными завесами // *Пожаровзрывобезопасность.* — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 73–82.
10. *Виноградов А. Г.* Поглощение теплового излучения водяными завесами. Часть 2 // *Пожаровзрывобезопасность.* — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 72–84.
11. *Виноградов А. Г.* Экранирование теплового излучения полидисперсными водяными завесами // *Пожаровзрывобезопасность.* — 2013. — Т. 22, № 6. — С. 74–84.
12. *Виноградов А. Г.* Поглощение лучистого теплового потока в распыленной водяной струе // *Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, сер. Машинобудування.* — 2012. — № 65. — С. 145–152.
13. *Försth M., Möller K.* Absorption of heat radiation in liquid droplets // *SP Report 2011:75. Boras SE: Fire Technology, SP Technical Research Institute of Sweden.* — 57 p. URL : <http://www-v2.sp.se/publ/ViewDocument.aspx?RapportId=13090> (дата обращения: 02.05.2013 г.).
14. *Modest M. F.* Radiative Heat Transfer. — 2nd ed. — New York : Academic Press, 2003. — 822 p.
15. *Buckius R. O., Tien C. L.* Infrared Flame Radiation // *International Journal of Heat and Mass Transfer.* — 1977. — Vol. 20, No. 2. — P. 93–106.
16. *Hertzberg M., Litton C. D., Donaldson W. F., Burgess D.* The infrared radiance and the optical detection of fires and explosions // *Symposium (International) on Combustion.* — 1975. — Vol. 15, No. 1. — P. 137–144.
17. *Parent G., Acem Z., Lechêne S., Boulet P.* Measurement of infrared radiation emitted by the flame of a vegetation fire // *International Journal of Thermal Sciences.* — 2010. — Vol. 49. — P. 555–562.
18. *Parent G., Acem Z., Collin A., Berfroi R., Boulet P., Pizzo Y., Mindykowski P., Kaiss A., Porterie B.* Radiative flux emitted by a burning PMMA slab // *Journal of Physics: Conference Series.* — 2012. — Vol. 395. — P. 012153. URL : http://iopscience.iop.org/1742-6596/395/1/012153/pdf/1742-6596_395_1_012153.pdf (дата обращения: 02.05.2013 г.). doi: 10.1088/1742-6596/395/1/012153.
19. *Parent G., Acem Z., Collin A., Boulet P.* Radiative properties in the frame of forest fires // *Proc. 6th International Symposium on Radiative Transfer, 2010.* URL : <http://perso.ensem.inpl-nancy.fr/Anthony.Collin/Conferences/Conference2010A.pdf> (дата обращения: 02.05.2013 г.).
20. *Hägglund B., Persson L. E.* The heat radiation from petroleum fires // *FOA Report, C20126-D6 (A3).* — Stockholm : Forsvarets Forskningsanstalt, 1976.
21. *Klassen M., Gore J. P.* Structure and radiation properties of pool fires // *NIST.* — 1994. — NIST-GCR-94-651. — 153 p.
22. *Hale G. M., Querry M. P.* Optical Constants of Water in the 200 nm to 200 mm Wavelength Region // *Appl. Optics.* — 1973. — Vol. 12, No. 3. — P. 555–563.

Матеріал надійшов у редакцію 7 травня 2013 г.

English

ACCOUNTING OF THERMAL RADIATION SPECTRAL DISTRIBUTION AT CALCULATION OF WATER DROPLET TRANSMITTANCE

VINOGRADOV A. G., Candidate Physical and Mathematical Sciences, Docent, Professor of the Department of Combustion Processes, Fire Safety Academy named after Chernobyl Heroes (Onoprienko St., 8, Cherkassy, 18034, Ukraine; e-mail address: vin_ag@mail.ru)

ABSTRACT

Purpose. Development of calculated techniques for thermal radiation shielding by a water curtain and performing numerical calculations of a transmittance of water droplet for the main types of spectra of a fire thermal radiation.

Methodology. According to literary data, in most cases the fire radiation spectra can be considered as the sum of two principal components: 1) black body emission spectrum; 2) molecular emission bands of gaseous products of combustion. For mathematical model operation these spectra are presented in the form of the linear combination of these components, in which the relative contribution of molecular emission bands is set by the ψ parameter. The transmittance of a spherical water droplet for such thermal radiation is calculated by means of earlier developed mathematical model.

Findings. Graphic dependences of a transmittance of water droplet from its diameter for the ψ parameter defined values corresponding to different types of fires are received. As a result of calculations it is found that the droplet transmittance decreases at ψ increase.

Application of results. Determination of optimum parameters of water spray curtain for of the thermal radiation attenuation during fire suppression.

Keywords: water curtain; transmittance; fire radiation spectrum.

REFERENCES

1. Ravigururajan T. S., Beltan M. R. A Model for attenuation of fire radiation through water droplets. *Fire Safety Journal*, 1989, vol. 15, pp. 171–181.
2. Coppalle A., Nedelka D., Bauer B. Fire protection: water curtains. *Fire Safety Journal*, 1993, vol. 20, pp. 241–255.
3. Yang W., Parker T., Ladouceur H. D., Kee R. J. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression. *Fire Safety Journal*, 2004, vol. 39, no. 1, pp. 41–66.
4. Buchlin J.-M. Thermal shielding by water spray curtain, *J. Loss Prev. Process Industries*, 2005, vol. 18, no. 4–6, pp. 423–432. Available at: <http://www.iitk.ac.in/che/jpg/papersb/full%20papers/B-%2071.pdf> (Accessed 02.05.2013).
5. Collin A., Boulet P., Lacroix D., Jeandel G. On radiative transfer in water spray curtains using the discrete ordinates method. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2005, vol. 92, pp. 85–110.
6. Boulet P., Collin A., Parent G. Heat transfer through a water spray curtain under the effect of a strong radiative source. *Fire Safety Journal*, 2006, vol. 41, no. 1, pp. 15–30. Available at: <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/11/37/28/PDF/Boulet2006.pdf> (Accessed 02.05.2013). doi: 10.1016/j.firesaf.2005.07.007.
7. Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G. Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 2010, vol. 57, pp. 537–553.
8. Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoune K. Contribution to Fire Protection of the LNG Storage Tank Using Water Curtain. *Int. J. Thermal & Environmental Engineering*, 2011, vol. 2, no. 2, pp. 91–98.
9. Vinogradov A. G. Pogloshcheniye teplovogo izlucheniya vodyanymi zavesami [Thermal radiation absorption by water curtains]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 7, pp. 73–82.
10. Vinogradov A. G. Pogloshcheniye teplovogo izlucheniya vodyanymi zavesami. Chast 2 [Thermal radiation absorption by water curtains. Part 2]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 72–84.
11. Vinogradov A. G. Ekranirovaniye teplovogo izlucheniya polidispersnymi vodyanymi zavesami [Heat radiation shielding by the polydisperse water curtains]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 6, pp. 74–84.
12. Vinogradov A. G. Pogloshcheniye luchistogo teplovogo potoka v raspyslennoy vodyanoy struye [Absorption of the radiant heat flux in the sprayed water jet]. *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu Ukraini “Kiivskiy politekhnichniy institut” — Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”*, 2012, no. 65, pp. 145–152.
13. Försth M., Möller K. Absorption of heat radiation in liquid droplets. *SP Report 2011:75. Boras SE: Fire Technology*, SP Technical Research Institute of Sweden, 57 p. Available at: <http://www-v2.sp.se/publ/ViewDocument.aspx?RapportId=13090> (Accessed 02.05.2013).
14. Modest M. F. *Radiative Heat Transfer*. 2nd ed. New York, Academic Press, 2003. 822 p.

15. Buckius R. O., Tien C. L. Infrared Flame Radiation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1977, vol. 20, no. 2, pp. 93–106.
16. Hertzberg M., Litton C. D., Donaldson W. F., Burgess D. The infrared radiance and the optical detection of fires and explosions. *Symposium (International) on Combustion*, 1975, vol. 15, no. 1, pp. 137–144.
17. Parent G., Acem Z., Lechêne S., Boulet P. Measurement of infrared radiation emitted by the flame of a vegetation fire. *International Journal of Thermal Sciences*, 2010, vol. 49, pp. 555–562.
18. Parent G., Acem Z., Collin A., Berfroi R., Boulet P., Pizzo Y., Mindykowski P., Kaiss A., Porterie B. Radiative flux emitted by a burning PMMA slab. *Journal of Physics: Conference Series*, 2012, vol. 395, p. 012153. Available at: http://iopscience.iop.org/1742-6596/395/1/012153/pdf/1742-6596_395_1_012153.pdf (Accessed 02.05.2013). doi: 10.1088/1742-6596/395/1/012153.
19. Parent G., Acem Z., Collin A., Boulet P. Radiative properties in the frame of forest fires. *Proc. 6th International Symposium on Radiative Transfer*, 2010. Available at: <http://perso.ensem.inpl-nancy.fr/Anthony.Collin/Conferences/Conference2010A.pdf> (Accessed 02.05.2013).
20. Hägglund B., Persson L. E. The heat radiation from petroleum fires. *FOA Report, C20126-D6 (A3)*. Stockholm, Forsvarets Forskningsanstalt, 1976.
21. Klassen M., Gore J. P. Structure and radiation properties of pool fires. *NIST*, 1994, NIST-GCR-94-651. 153 p.
22. Hale G. M., Querry M. P. Optical constants of water in the 200 nm to 200 mm wavelength region. *Appl. Optics*, 1973, vol. 12, no. 3, pp. 555–563.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Предлагает вашему вниманию

Л. П. Пилюгин

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ВНУТРЕННИХ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ



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

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

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

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

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

А. Д. БУЛВА, старший преподаватель кафедры управления защитой от чрезвычайных ситуаций ГУО "Командно-инженерный институт" МЧС Республики Беларусь (Республика Беларусь, 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25; e-mail: Bulva@list.ru)

УДК 614.878:661.715

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ

Предлагается математическая модель вовлечения воздуха с опасными примесями распыленными водяными струями, а также метод оценки эффективности работы распылителей при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом (проливом) химически опасных и пожаровзрывоопасных веществ, методика расчета требуемого количества распылителей и методика определения мест их постановки относительно зоны выброса (пролива).

Ключевые слова: распылитель; водяная завеса; эффективность применения; вовлечение воздуха; перемешивание воздуха; чрезвычайная ситуация; химически опасное вещество.

Для ограничения распространения в атмосфере химически опасных и пожаровзрывоопасных веществ наибольшее распространение получили водяные завесы. При этом в ряде исследований [1–5] внимание акцентируется на том, что наибольший эффект при их применении обусловлен именно вовлечением водяными струями воздуха с опасными примесями с последующим их перемешиванием и рассеиванием, что позволяет в значительной степени снизить концентрацию опасных веществ за завесой.

Выходящая из сопла струя за счет действия внутренних и внешних сил разрушается, в результате чего образуется множество мелких водяных капель. Вовлечение воздуха в струю и его перемешивание обусловлены, в первую очередь, передачей импульса от движущихся капель воды к окружающему воздуху. Данный эффект возможен благодаря наличию силы аэродинамического сопротивления движению капли.

Основными факторами, способствующими дроблению струи, являются [1]:

- скорость истечения жидкости;
- геометрические размеры сопел (диаметр, угол раскрытия и форма струи);
- динамический коэффициент вязкости жидкости;
- плотность и поверхностное натяжение жидкости;
- плотность и давление окружающей среды.

Следует сказать, что эффективность вовлечения и перемешивания воздуха водяной струей определяется целым рядом физических и геометрических параметров как отдельной струи, так и водяной завесы в целом. Основными из них являются:

- форма струи (плоская, конусообразная и т. д.);

- размеры и скорость движения капель в раздробленной части струи;
- положение водяной завесы и направление движения капель (нисходящие и восходящие водяные струи).

В ряде работ указывается на то, что увеличение размера капель воды в распыленной части струи способствует уменьшению объема вовлекаемого воздуха, но эффективность перемешивания и рассеивания примесей при этом выше, чем у водяных струй с меньшим размером водяных капель [2]. Причина этого видится в том, что водяные струи с мелкими каплями хуже перемешивают и рассеивают опасные примеси в воздухе из-за низких средних скоростей движения. Это в значительной степени обусловлено снижением турбулентности самого водяного потока.

Таким образом, для обеспечения качественного перемешивания и рассеивания опасных примесей в атмосфере с помощью водяных завес последние должны обеспечивать не только определенную объемную, но и соответствующую линейную скорость вовлечения воздуха.

Следует сказать, что проблема вовлечения воздуха водяными струями привлекла внимание многих исследователей, особенно западных, таких как Pana, Heskestad, Palazzi, Van Doorn и др. [2–5]. Однако эти авторы сосредоточили внимание в своих работах в основном на исследовании различных типов конических струй, направленных вниз, которые применяются для рассеивания и перемешивания в основном тяжелых примесей. В то же время в случае аварий могут выбрасываться и достаточно легкие

вещества. Тогда эффективнее оказываются именно восходящие струи и формируемые ими завесы.

В настоящее время экспериментальных и теоретических исследований по взаимодействию восходящих струй водяной завесы и опасных примесей в окружающей среде проведено сравнительно немного. При этом их основная цель — получение качественных данных и зависимостей, характеризующих взаимодействие конкретной завесы, создаваемой с помощью известного распылителя, и конкретной примеси в атмосфере (аммиак, хлор, сжиженные углеводороды, углекислый газ и др.) [6–9].

В работе предпринята попытка построения простой математической модели вовлечения воздуха восходящими водяными струями с целью оценки скорости вовлечения и качества соответствующего эффекта, а также теоретической оценки объема воздуха, перемешиваемого водяными струями. Предлагается методика расчета требуемого количества распылителей для ограничения распространения опасных примесей в атмосфере и сравнительная оценка распылителей для формирования защитных водяных завес.

В основу построения математической модели вовлечения воздуха водяной завесой положен второй закон Ньютона для отдельной водяной капли, движущейся в воздухе.

При построении модели будем использовать следующие допущения:

- струя жидкости в атмосфере и вовлекаемый воздух не сжимаемы;
- капли имеют сферическую форму и распределяются в раздробленном потоке равномерно по сечению струи;
- аэродинамическое сопротивление отдельной капли не зависит от движущихся рядом капель воды;
- поток вовлекаемого воздуха по сечению струи распределен равномерно;
- взаимодействием отдельных капель в раздробленной струе пренебрегаем (не учитываем их слияние, последующее дробление и т. д.).

Для единичной водяной капли массой m_k (кг), движущейся в воздухе вверх, закон Ньютона в проекции на вертикальную ось можно представить в виде:

$$\frac{m_k dv_k}{dt} = -m_k g - F_c + F_a, \quad (1)$$

где v_k — средняя мгновенная скорость капли в заданный момент времени, м/с;

F_c — аэродинамическая сила сопротивления воздуха движению капли, Н;

F_a — сила Архимеда, Н (этой силой ввиду ее незначительности в дальнейшем пренебрегаем).

Считаем, что за очень малый промежуток времени средняя мгновенная скорость капли на участ-

ке высотой dh остается практически неизменной. Тогда выражение (1) можно представить в следующем виде:

$$\frac{m_k v_k dv_k}{dh} = -m_k g - F_c. \quad (2)$$

Из выражения (2) получаем:

$$\frac{dv_k}{dh} = \frac{-g}{v_k} - \frac{F_c}{m_k v_k}. \quad (3)$$

Для дальнейших расчетов массу вовлекаемого воздуха в каком-либо сечении струи обозначим $m_{\text{возд}}$ (кг), площадь поперечного сечения струи — S_B (м²), скорость вовлекаемого воздуха — $v_{\text{возд}}$ (м/с), число капель воды, генерируемых в струе в единицу времени, — N_k (с⁻¹). Тогда для вертикальной восходящей струи можно записать следующее уравнение:

$$\frac{d(m_{\text{возд}} v_{\text{возд}})}{dt} = N_k F_c dt - m_{\text{возд}} g. \quad (4)$$

Тогда из выражения (4) получаем:

$$\frac{d(\rho_{\text{возд}} v_{\text{возд}}^2 S_B dt)}{dt} = (N_k F_c - \rho_{\text{возд}} S_B v_{\text{возд}} g) dt, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{возд}}$ — плотность воздуха, кг/м³.

Из уравнения (5) имеем:

$$\frac{d(\rho_{\text{возд}} v_{\text{возд}}^2 S_B)}{dh} = \frac{N_k F_c}{v_k} - \frac{\rho_{\text{возд}} S_B v_{\text{возд}} g}{v_k}. \quad (6)$$

С изменением высоты изменяется и площадь поперечного сечения водяной струи, т. е. имеет место функциональная зависимость

$$S_B = S_B(h). \quad (7)$$

В модели будем рассматривать коническую струю с половинным углом ее раскрытия θ (рис. 1); сечение струи в достаточном приближении будем считать круглым. Тогда его площадь можно представить в следующем виде [10]:

$$S_B = \pi h^2 \tan^2 \theta. \quad (8)$$

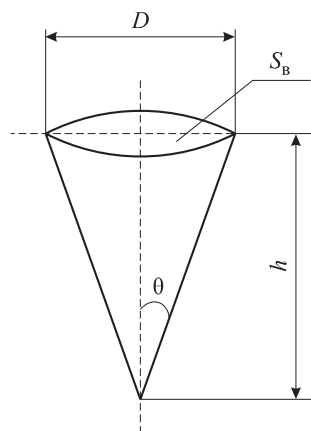


Рис. 1. Схема конической восходящей струи

Число капель воды N_k , генерируемых в единицу времени, можно определить по формуле

$$N_k = Q_B \rho_B / m_k, \quad (9)$$

где Q_B — расход воды из сопла, м³/с;
 ρ_B — плотность воды, кг/м³.

Силу аэродинамического сопротивления движущейся капли представим в виде [11]:

$$F_c = C_k S_k \frac{\rho_{\text{возд}} v_{\text{отн}}^2}{2}, \quad (10)$$

где C_k — коэффициент аэродинамического сопротивления капли, зависящий от числа Рейнольдса [2, 4];

$$C_k = B \sqrt{l / \text{Re}}; \quad (11)$$

B — коэффициент, приведенный в [4]; $B = 12,6$;
 Re — число Рейнольдса, определяемое по формуле

$$\text{Re} = d_k v_{\text{отн}} / \nu_{\text{возд}}; \quad (12)$$

d_k — средний эффективный диаметр капли, м;
 $v_{\text{отн}}$ — относительная скорость капли, м/с;

$$v_{\text{отн}} = v_k - v_{\text{возд}}; \quad (13)$$

$\nu_{\text{возд}}$ — кинематическая вязкость воздуха, м²/с;
 S_k — площадь лобового сопротивления капли, м²;

$$S_k = \pi d_k^2 / 4. \quad (14)$$

Подставляя выражения (11)–(14) в (10), определим силу аэродинамического сопротивления движущейся капли:

$$F_c = B \sqrt{\nu_{\text{возд}}} \sqrt{\frac{1}{d_k (v_k - v_{\text{возд}})}} \frac{\pi d_k^2}{8} \times \times \rho_{\text{возд}} (v_k - v_{\text{возд}})^2. \quad (15)$$

Учитывая уравнения (3), (6), (8) и (15), получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dv_k}{dh} = \frac{-g}{v_k} - \frac{3}{4} \frac{\rho_{\text{возд}}}{\rho_B} B \frac{\sqrt{\nu_{\text{возд}}}}{v_k} \left[\frac{(v_k - v_{\text{возд}})}{d_k} \right]^{3/2}; \\ \frac{dv_{\text{возд}}}{dh} = \frac{3}{8} \frac{Q_B}{S_B} B \sqrt{\nu_{\text{возд}}} \left[\frac{(v_k - v_{\text{возд}})}{d_k} \right]^{3/2} \times \\ \times \frac{1}{v_k v_{\text{возд}}} - \frac{g}{2v_k} - \frac{dS_B}{2S_B dh} v_{\text{возд}}. \end{cases} \quad (16)$$

Из уравнения (8) получаем:

$$\frac{dS_B}{dh} = 2\pi h \tan^2 \theta. \quad (17)$$

Интегрирование уравнений (16) с использованием (17) позволяет дать оценку линейной скорости вовлечения воздуха водяными струями.

Для решения системы уравнений (16) необходимо определить начальные условия: начальную скорость капли, начальную скорость вовлечения воз-

духа, расстояние от сопла, где сплошная струя претерпела разрушение на отдельные капли.

В распыленной струе выделяют, как правило, три участка [1, 2]:

- участок сплошного потока до достижения струей определенного диаметра;
- участок начала распада струи, на котором происходит формирование капель жидкости;
- участок окончательного формирования капель, на котором начинается их самостоятельное движение.

В реальных распыленных струях 2-й и 3-й участки находятся рядом. Для практических целей можно считать, что они находятся в одной плоскости.

Начальную скорость движения капель можно принять равной средней скорости участка сплошной струи на 2-м участке. Для горизонтальных распылителей и вертикальных форсунок этот участок располагается практически рядом с соплом. Тогда для определения начальных скоростей движения капель v_{0k} (м/с) можно воспользоваться следующим соотношением [12]:

$$v_{0k} = v_{\text{ж}} \frac{\sin^2 \theta}{2(1 - \cos \theta)}, \quad (18)$$

где $v_{\text{ж}}$ — скорость жидкости на выходе из сопла, м/с.

Начальную скорость вовлекаемого воздуха на 3-м участке струи $v_{0\text{возд}}$ (м/с) можно определить по зависимости, полученной экспериментально в ходе измерения скорости вовлечения воздуха на срезе сопла различных распылителей с помощью чашечного анемометра МС-13:

$$v_{0\text{возд}} \approx (0,15 \pm 0,25) v_{\text{ж}}. \quad (19)$$

Длина участка струи от сопла распылителя до сечения l (м), где начинается самостоятельное движение капель, определяется по формуле [12]:

$$l = 0,29 \frac{d_c}{\sin \theta}, \quad (20)$$

где d_c — диаметр выходного сопла, м.

Следует отметить, что для рукавных распылителей начальный участок имеет, как правило, большую длину, обусловленную небольшим корневым углом, значительной скоростью истечения жидкости и коротким цилиндрическим соплом. Длина этого участка определяется экспериментально.

Скорость жидкости на выходе из сопла зависит от его гидравлических характеристик и избыточного давления. При этом скорость жидкости можно определить по одной из следующих зависимостей [1, 12]:

$$v_{\text{ж}} = \varphi \sqrt{2P / \rho_B} \quad (21)$$

или

$$v_{\text{ж}} = 4Q_B / (\mu \pi d_c^2), \quad (22)$$

где ϕ и μ — коэффициенты соответственно скорости и расхода насадки, зависящие от ее гидравлических характеристик (определяются опытным путем либо из технической документации);

P — давление жидкости на насадке, Па.

Еще один необходимый параметр для решения системы уравнений (16) — это эффективный диаметр капли d_k .

При истечении распыленной жидкости из сопла генерируется, как правило, широкий диапазон капель различного размера. Анализ имеющихся литературных данных показывает, что в качестве эффективного диаметра для проведения настоящих расчетов целесообразно использовать объемно-поверхностный диаметр Саутера [2, 12], при котором капля сохраняет как объем, так и площадь поверхности:

$$d_k = \frac{\sum d_i^3 \cdot n_i}{\sum d_i^2 \cdot n_i}, \quad (23)$$

где d_i — значение диаметра капли, соответствующее середине интервала, м;

n_i — число частиц, попавших в заданный интервал.

В качестве распылителей в настоящее время могут применяться различные типы форсунок: струйные, центробежные, ударно-струйные, с соударением струй, комбинированные и др. Тип используемого распылителя оказывает существенное влияние на эффективный диаметр капли. Поэтому в качестве расчетного используют данные справочной литературы или результаты испытаний либо производят расчет, исходя из типа используемой форсунки (сопла) для формирования распыленной струи.

В работе [13] для практического определения объемно-поверхностного диаметра капель предлагается использовать следующую зависимость:

$$d_k = 0,02108 v_{ж}^{-4/3} d_c^{1/12}. \quad (24)$$

Для упрощения системы (16) введем следующие коэффициенты:

$$\alpha = \frac{B \sqrt{v_{возд}}}{d_k^{3/2}}; \quad (25)$$

$$\beta = \frac{3}{8} \frac{Q_B}{\pi \operatorname{tg}^2 \theta}; \quad (26)$$

$$\gamma = \frac{3}{4} \frac{\rho_{возд}}{\rho_B}. \quad (27)$$

Тогда система уравнений (16) примет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dv_{возд}}{dh} = \frac{\beta}{h^2} \alpha \frac{(v_k - v_{возд})^{3/2}}{v_k v_{возд}} - \frac{1}{h} v_{возд} - \frac{g}{2v_k}; \\ \frac{dv_k}{dh} = \frac{-g}{v_k} - \gamma \alpha \frac{(v_k - v_{возд})^{3/2}}{v_k}. \end{cases} \quad (28)$$

Таким образом, решая систему уравнений (28), можно получить скорость вовлечения воздуха и скорость капли на любой высоте распыленной струи.

Систему уравнений решим методом Рунге–Кутты 4-го порядка с использованием программного обеспечения MathCAD 14.0, задавшись следующими исходными данными:

- диаметр рукавного распылителя — 66 мм, общий расход жидкости — $11 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, диаметр единичного сопла — $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, число сопел — 40;
- для упрощения принимаем равномерное распределение жидкости между соплами;
- расход жидкости из сопла $Q_B = 0,275 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- половинный корневой угол $\theta = 5^\circ$;
- диаметр сопла $d_c = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
- коэффициент расхода $\mu = 0,99$.

Остальные параметры рассчитываем.

Скорость жидкости на выходе из сопла по формуле (22):

$$v_{ж} = \frac{4 \cdot 0,275 \cdot 10^{-3}}{0,99 \cdot 3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2} = 14,2 \text{ м/с}.$$

Начальная скорость движения капель по формуле (18):

$$v_{0к} = 14,2 \cdot \frac{\sin^2 5^\circ}{2 \cdot (1 - \cos 5^\circ)} = 14,1 \text{ м/с}.$$

Начальная скорость вовлекаемого воздуха по формуле (19):

$$v_{0возд} \approx (0,15 \div 0,25) \cdot 14,1 \approx 2,0 \text{ м/с}.$$

Длину участка струи от сопла распылителя до сечения, на котором начинается самостоятельное движение капель, примем условной (как уже отмечалось ранее, для рукавных распылителей эта величина может быть определена экспериментально).

Объемно-поверхностный диаметр капель по формуле (24):

$$d_k = 0,02108 \cdot 14,1^{-4/3} \cdot 0,005^{1/12} \approx 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Кинематическая вязкость воздуха:

$$\nu_{возд} = 0,0000133 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Значения коэффициентов системы по (25)–(27):

$$\alpha = \frac{12,6 \cdot \sqrt{0,0000133}}{(4 \cdot 10^{-4})^{3/2}} = 5744;$$

$$\beta = \frac{3}{8} \cdot \frac{0,275 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot \operatorname{tg}^2 5^\circ} = 0,0043;$$

$$\gamma = \frac{3}{4} \cdot \frac{1,29}{1000} = 0,0009675.$$

Результаты численного расчета представлены на рис. 2.

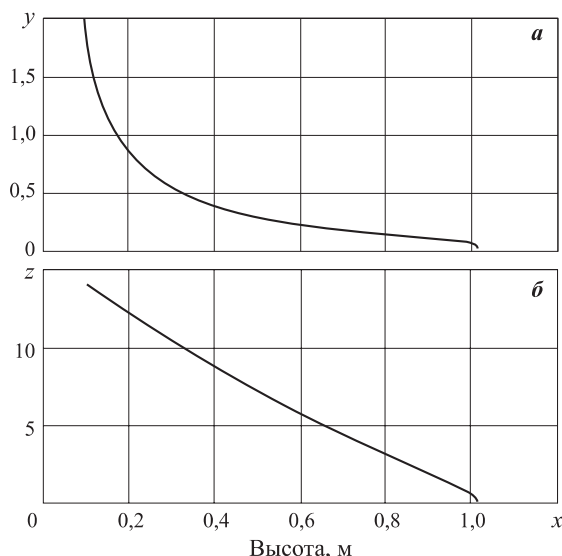


Рис. 2. Результаты расчета в программе MathCAD 14.0 изменения скорости вовлечения воздуха (а) и вертикальной составляющей скорости движения капли в струе (б)

Задаваясь другими исходными данными и используя параметры реальных распылителей, мы получаем зависимости, аналогичные представленным на рис. 2.

Хотелось бы еще раз обратить внимание на график, приведенный на рис. 2, где по оси x показан не весь участок струи, а только тот, на котором происходит дробление струи на отдельные капли. Полная высота струи будет равна сумме высот участка со сплошным участком и раздробленным.

Таким образом, можно сделать вывод, что эффект вовлечения воздуха присутствует в распыленной струе, однако ввиду небольших скоростей вовлечения он не оказывает существенного влияния на ограничение распространения опасных примесей в атмосфере, а обеспечивает более тщательное перемешивание примеси. Для вертикальной восходящей струи данный эффект обуславливает еще и подъем опасного облака над землей.

Расчеты, проведенные для горизонтальных водяных струй по вовлечению воздуха по несколько измененной математической модели, построенной по тем же соображениям, что и выше, дают схожие результаты.

Другим, более важным и существенным, на наш взгляд, эффектом при использовании водяных завес, как горизонтальных, так и вертикальных, должен быть именно эффект перемешивания водяными струями воздуха с опасными примесями.

Попытаемся дать ему количественную и качественную оценку. Для этого силу сопротивления воздуха водяной завесе запишем в следующем виде:

$$F_c = CS(\rho_{\text{возд}}/2)v^2, \quad (29)$$

где C — коэффициент аэродинамического сопротивления капли воды;

S — площадь, занимаемая капельной жидкостью, м^2 ;

v — скорость струи в некоторый момент времени, м/с .

Сила сопротивления воздуха равна силе реакции воздуха на движущуюся водяную струю, что можно представить в следующем виде:

$$F_c = CS(\rho_{\text{возд}}/2)v^2 = Q\rho_{\text{возд}}v,$$

откуда

$$Q = CSv/2,$$

где Q — объем воздуха, перемешиваемого в единицу времени, $\text{м}^3/\text{с}$.

Объем перемешиваемого воздуха изменяется по сечению струи и зависит в основном от площади, занятой капельной жидкостью, и скорости движения капель.

Площадь, занятую капельной жидкостью, можно представить в виде:

$$\begin{aligned} S(t) &= S_k N_k t = \frac{\pi d_k^2}{4} \frac{Q_b \rho_b}{m_k} t = \frac{\pi d_k^2}{4} \frac{Q_b \rho_b}{m_k} t = \\ &= \frac{\pi d_k^2}{4} \frac{Q_b \rho_b}{(\pi d_k^3/6) \rho_b} t = \frac{3}{2} \frac{Q_b}{d_k} t. \end{aligned}$$

Изменение площади капельной жидкости за малый промежуток времени dt составит:

$$dS = \frac{3}{2} \frac{Q_b}{d_k} dt.$$

Если учесть, что скорость капельной жидкости за малый промежуток времени и коэффициент аэродинамического сопротивления остаются практически неизменными, то изменение объема воздуха, перемешиваемого в единицу времени, можно записать в следующем виде:

$$dQ = \frac{CdS \cdot v}{2} = \frac{3}{4} C \frac{Q_b}{d_k} v dt, \quad (30)$$

где $v dt$ — путь, пройденный каплями струи за малый промежуток времени.

Интегрируя выражение (30) по осям x , y и z , получаем:

$$Q = \frac{3}{4} C \frac{Q_b}{d_k} \sqrt{L^2 + 2D^2}, \quad (31)$$

где L — длина (высота) распыленной струи, м ;

D — конечный диаметр (приведенный конечный диаметр, если площадь поперечного сечения распыленной струи имеет неправильную форму), м .

Приведенный диаметр распыленной струи можно определить по формуле

$$D = \sqrt{4S_{\text{max}}/\pi},$$

где S_{max} — максимальная площадь сечения распыленной струи, м^2 .

Коэффициент аэродинамического сопротивления изменяется по длине струи и зависит от числа Рейнольдса, диаметра и скорости капле воды. Но в конкретной струе на ее основном участке изменения коэффициента аэродинамического сопротивления практически не происходит, т. е. для каждого конкретного распылителя при заданных параметрах коэффициент аэродинамического сопротивления можно считать постоянным и соответствующим среднему диаметру капле.

Для его определения можно воспользоваться формулой (11) или соотношением для чисел Рейнольдса от 1 до 1000 [14]:

$$C = 24/Re + 4/Re^{0,33}. \quad (32)$$

Значения, полученные по формулам (11) и (32), как видно на рис. 3, практически совпадают. Для определения коэффициента аэродинамического сопротивления в зависимости от среднего диаметра капле можно воспользоваться графиком (см. рис. 3) либо полученной в результате аппроксимации формулой

$$C \approx 15,923d_k^{-0,491}, \quad (33)$$

где d_k — средний объемно-поверхностный диаметр, мкм.

Анализ зависимостей, предложенных рядом исследователей для различных скоростей и эффективных диаметров капле распыленных струй, позволяет говорить о том, что средний коэффициент аэродинамического сопротивления в большинстве случаев остается в диапазоне 0,5–0,8. В работе [15] предлагается использовать для распыленных струй коэффициент, полученный экспериментально: $C = 0,63$.

Для сравнительной оценки различных распылителей целесообразно ввести и использовать коэф-

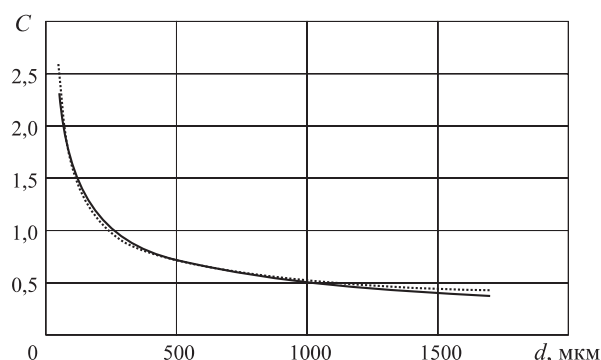


Рис. 3. Изменение коэффициента аэродинамического сопротивления в зависимости от эффективного диаметра капле

фициент эффективности завесы (коэффициент использования воды) $k_{эф}$, равный отношению объема перемешиваемого воздуха к расходу воды из сопла.

Этот коэффициент показывает, какой объем воздуха (m^3) перемешивается 1 литром воды:

$$k_{эф} = \frac{Q}{Q_v} = \frac{3}{4} C \frac{\sqrt{L^2 + 2D^2}}{d_k}. \quad (34)$$

Сравнивая коэффициенты эффективности завесы (коэффициенты использования воды) для различных распылителей, можно оценить и эффективность технических средств, с помощью которых формируются завесы. В табл. 1 приведен их сравнительный анализ и выделены наиболее эффективные распылители.

Чтобы уменьшить объемную концентрацию опасных веществ до некоторого безопасного значения $C_{без}$, водяные завесы должны быть способны перемешивать окружающий воздух с опасными примесями с объемной скоростью, превышающей приток газовой примеси.

Таблица 1. Сравнительная характеристика различных типов распылителей

Тип ствола	Расход из сопла, л/с	Давление, МПа	Длина струи, м	Диаметр струи, м	Q , m^3/c	$k_{эф}$
CHIEF 4000-13	9,48	0,7	19,6	10,5	367,26	38,74
Select-o-Matic SM-30 FG	18,95	0,7	26,6	14,25	1530	80,74
Phantom SFM-HPG	7,9	0,7	21	11,25	400,15	50,65
СПРК-50	5,66	0,7	12,5	6,7	251,32	44,4
РСП-70	7,6	0,6	10	7,3	127,16	16,73
РСКЗ-70	4,8	0,6	12,5	9,1	113,82	23,71
СРВД	1,6	3	17,2	7,6	62,39	38,99
РСП-50	2	0,6	12	8,7	40,015	20,01
НРТ-5	5	0,6	20	8	277,96	55,59
НРТ-10	10	0,6	25	11,3	717,85	71,78
НРТ-20	20	0,6	35	16	2016,6	100,8
РВ-12	12	0,6	8	8	261,9	21,82
РР (20×0,066×0,5×0,005)	11	0,7	5,5	16	403,43	36,7
РР (20×0,066×0,5×0,006)	15	0,7	6,5	19,5	541,4	36,1

Если общая объемная скорость притока парогазовой фазы составляет q_v , а общая объемная скорость перемешивания воздуха q_c , то безопасную концентрацию $C_{пр}$ можно выразить формулой

$$C_{пр} = \frac{q_v (T_c/T_0)}{q_c + q_v (T_c/T_0)}, \quad (35)$$

где T_c/T_0 — параметр, учитывающий расширение объема паров при их нагреве от температуры холодных паров T_0 до температуры смеси T_c .

Из формулы (35) следует, что необходимое отношение объема перемешиваемого воздуха к объему приточного определяется выражением

$$\frac{q_c}{q_v} = \frac{1 - C_{пр}}{C_{пр} (T_0/T_c)}. \quad (36)$$

При необходимости рассеивания паров химически опасных веществ до безопасных концентраций значение $C_{пр}$ будет соответствовать значениям предельно допустимых концентраций; при рассеивании паров пожаровзрывоопасных концентраций значение $C_{пр}$ можно принять в целях безопасности равным половине нижнего концентрационного предела распространения пламени.

Оценим величину q_c/q_v при аварийном проливе, например, метана, пропана, аммиака и хлора по формуле (36). Данные сведем в табл. 2.

Стоит отметить, что в рассмотренной модели перемешивания любое предварительное разбавление с помощью ветра или посредством разбавляющих средств не отражается на окончательной концентрации разбавленных паров, если концентрация последних не была снижена самими разбавителями ниже уровня, на который рассчитана струйная система. Данный вывод основан на том, что воздух, перемешанный с парами во время предварительного разбавления, должен перемешиваться также струйной системой, становясь частью q_c .

Объемная скорость притока парогазовой фазы q_v определяется в зависимости от скорости ветра, типа вещества, температуры окружающей среды и подстилки пролива, площади пролива (приведенной площади пролива) и др.

Объемную скорость паров опасного химического вещества, поступающего в атмосферу при испа-

Таблица 2. Оценка требуемой кратности объема перемешиваемого воздуха к объему притока парогазовой смеси

Вещество	Нижний концентрационный предел распространения пламени $C_{НКПР}$	Безопасная концентрация $C_{пр}$	Требуемое значение q_c/q_v
Метан	0,05	0,025	103
Пропан	0,023	0,0115	109
Аммиак	—	0,00028	3600
Хлор	—	0,000014	70000

рении с поверхности пролива в условиях вынужденной конвекции газового потока, можно определить, воспользовавшись справочными данными или из уравнения [9]:

$$q_c = \frac{4,66 \cdot 10^{-8} (5,38 + 4,1u) F p(T)}{\sqrt{M}},$$

где u — скорость движения воздуха над поверхностью пролива, м/с;

F — площадь пролива, м²;

$p(T)$ — парциальное давление паров над поверхностью пролива при температуре T , Па;

M — относительная молекулярная масса вещества.

Например, скорость притока парогазовой смеси хлора в зависимости от скорости ветра и площади пролива приведем, воспользовавшись [16]. Данные сведем в табл. 3.

Для количественной оценки требуемого количества распылителей для рассеивания опасных примесей в атмосфере зададимся следующими условиями: площадь пролива хлора — 10 м², скорость ветра — 2 м/с. Требуется определить количество рукавных распылителей РР (20×0,066×0,5×0,006), необходимое для ограничения распространения опасного облака.

По табл. 3 определяем, что при заданных условиях скорость притока парогазовой смеси $q_v = 0,08$ м³/с. По табл. 2 находим $q_c/q_v = 70000$. Тогда необходимая общая скорость перемешивания воздуха $q_c = 70000 \cdot 0,08 = 5600$ м³/с.

Таблица 3. Оценка объемной скорости притока парогазовой смеси хлора в зависимости от скорости ветра и площади пролива

Площадь пролива $S_{пр}$, м ²	Скорость ветра, м/с	Скорость притока парогазовой смеси, м ³ /с	Площадь пролива $S_{пр}$, м ²	Скорость ветра, м/с	Скорость притока парогазовой смеси, м ³ /с
1	2	0,008	40	2	0,34
	5	0,017		5	0,68
	7	0,024		7	0,95
5	2	0,04	50	2	0,42
	5	0,08		5	0,84
	7	0,12		7	1,18
10	2	0,08	60	2	0,51
	5	0,17		5	1,01
	7	0,24		7	1,42
20	2	0,16	70	2	0,59
	5	0,34		5	1,18
	7	0,47		7	1,66
30	2	0,25	80	2	0,68
	5	0,51		5	1,35
	7	0,71		7	1,9

Таблица 4. Зависимость угла горизонтального рассеивания и расстояния прокладки распылителей от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	Угол горизонтального рассеивания, град	Формула для определения расстояния прокладки распылителей от места пролива, м
Менее 1	360	$R = L^{\text{зав}} / (2\pi)$
1–2	90	$R = 2L^{\text{зав}} / \pi$
3–6	45	$R = 4L^{\text{зав}} / \pi$
7 и выше	24	$R = 8L^{\text{зав}} / \pi$

Один рукавный распылитель РР (20×0,066×0,5×0,006) обеспечивает перемешивание $Q = 541,4 \text{ м}^3/\text{с}$ (см. табл. 1). Следовательно, общее расчетное количество рукавных распылителей n для постановки водяных завес должно составлять:

$$n = q_c / Q = 5600 / 541,4 \approx 10.$$

Однако для разработки окончательной схемы расстановки распылителей необходимо учитывать угол горизонтального рассеивания паровоздушного облака в зависимости от скорости ветра, определяющего расстояние от места пролива, где будет осуществляться постановка водяных завес. Обычно используют 2–3 эшелона водяных завес, но при значительных проливах (выбросах) их может потребоваться значительно больше. В табл. 4 приведены значения углов горизонтального рассеивания газопаровоздушных облаков в зависимости от скорости ветра [16, 17]. Из геометрических соображений для полного перекрытия газопаровоздушного облака водяными завесами в зависимости от скорости ветра и ширины завес $L^{\text{зав}}$, формируемых распылителями, можно определить расстояние прокладки распылителей от места пролива (выброса) R .

Возвращаясь к задаче, принимаем, что для локализации облака будет использовано три эшелона водяных завес. При скорости ветра 2 м/с угол горизонтального рассеивания составляет 90° (см. табл. 4). Один рукавный распылитель позволяет формировать ширину водяной завесы, равную около 20 м.

Принимаем три эшелона для постановки водяных завес. Так как общее количество распылителей равно 10, распределяем их равномерно с постепенным увеличением в каждом эшелоне, т. е. в первом

эшелоне — 1 рукавный распылитель ($L_1^{\text{зав}} = 20 \text{ м}$), во втором — 3 ($L_2^{\text{зав}} = 60 \text{ м}$), в третьем — 6 ($L_3^{\text{зав}} = 120 \text{ м}$).

Определим расстояние прокладки рукавных распылителей от места пролива по формуле в табл. 4:

- первый эшелон:

$$R_1 = \frac{2L_1^{\text{зав}}}{\pi} = \frac{2 \cdot 20}{3,14} = 12,7 \approx 12 \text{ м};$$

- второй эшелон:

$$R_2 = \frac{2L_2^{\text{зав}}}{\pi} = \frac{2 \cdot 60}{3,14} = 38,2 \approx 40 \text{ м};$$

- третий эшелон:

$$R_3 = \frac{2L_3^{\text{зав}}}{\pi} = \frac{2 \cdot 120}{3,14} = 76,4 \approx 75 \text{ м}.$$

При использовании стволов-распылителей и насадок в качестве ширины завесы принимается длина распыленной части струи.

Таким образом, предложенная методика позволяет не только рассчитывать оптимальное количество распылителей для постановки водяных завес, но и определять наиболее оптимальные схемы их расстановки в процессе локализации облака с опасными примесями.

Заключение

В работе предложена математическая модель для расчета скорости вовлечения воздуха восходящими водяными струями. Создана программа в среде MathCAD, с помощью которой выполнено численное моделирование вовлечения воздуха восходящими водяными струями. Установлено, что важнейшим фактором, влияющим на распространение опасных примесей в атмосфере при постановке водяных завес, является эффект перемешивания. Предложен метод количественной оценки перемешивания воздуха водяными струями. Для сравнительного анализа различных распылителей введен коэффициент эффективности завесы. С помощью этого коэффициента проведен сравнительный анализ применения различных типов распылителей для ограничения распространения опасных примесей в атмосфере; предложена методика расчета их количества, необходимого для локализации чрезвычайной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Е. Н. Противопожарное водоснабжение. — М. : Стройиздат, 1986. — С. 316.
2. Rana M. A. Forced dispersion of liquefied natural gas vapor clouds with water spray curtain application : PhD diss. — Texas, 2009. — 232 p.
3. Van Doorn M. The control and dispersion of hazardous gas clouds with water sprays : PhD thesis. — Delft, Netherlands : Delft University of Technology, 1981.
4. Heskestad G., Kung H. C., Todtenkopf N. Air entrainment into water sprays // Factory Mutual Research Corporation Report RC77-TP-7, November 1977.

5. Palazzi E., Curro F., Pastorino R., Fabiano B. Liquid spray curtains design to contain and mitigate toxic and flammable jets and releases // Proc. 11th International Loss Prevention Symposium "Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries". — Praha, Czech Republic, 2004. — P. 3127–3136.
6. Котов Г. В., Голуб О. В. Натурные испытания по определению эффективности влияния водяных завес на распространение хлора в приземном слое воздуха // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2011. — Т. 29, № 1. — С. 23–31.
7. Котов Г. В., Еремин А. П. Определение коэффициента пропускания водяных завес при ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с проливом аммиака // Оралдын гылым жаршысы=Урал : науч. вестн. — 2007. — № 2. — С. 44–50.
8. Котов Г. В., Фесенко С. П., Голуб О. В. Локальный коэффициент шероховатости поверхности при постановке водяных завес и рассеивание примеси // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. — 2011. — Т. 14, № 2. — С. 19–26.
9. Сенчишак Т. И. Защитные водяные завесы для борьбы с газопаровоздушными облаками горючих газов и токсичных веществ : дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. — М. : ВНИИПО, 2003. — 170 с.
10. Карпенчук И. В., Заневская Ю. В. Дифференциальные уравнения одномерного осредненного движения распыленной струи жидкости // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. — 2005. — Т. 17, № 7. — С. 14–20.
11. Fisenko S. P., Brin A. A., Petruchik A. I. Evaporative cooling of water in a mechanical draft cooling tower // Intern. J. of Heat and Mass Transfer. — 2004. — Vol. 47, No. 1. — P. 165–177.
12. Пажу Д. Г., Галустров В. С. Основы техники распыливания жидкостей. — М. : Химия, 1984. — 256 с.
13. Ющенко Ю. Н., Лапин К. И. Технические требования к качеству распыливания воды установками пожаротушения // Горноспасательное дело. — 2011. — № 48. — С. 95–105.
14. Clift R., Grace J. R., Weber M. E. Bubbles, Drops, and Particles. — New York : Academic Press, 1978.
15. Meroney R. N., Neff D. E. Numerical modelling of water spray barriers for dispersing dense gases // J. Boundary Layer Meteorology. — 1985. — Vol. 31. — P. 233–247.
16. Об утверждении методики расчета сил и средств для постановки водяных завес при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом (проливом) хлора : приказ М-ва по чрезвычай. ситуациям Респ. Беларусь от 27.09.2011 г. № 210 // Консультант Плюс: Версия Проф. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО "ЮрСпектр". — М., 2013.
17. РД 52.04.253–90. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. — Введ. 01.07.90 г. — Л. : Гидрометеиздат, 1991. — 23 с.

Материал поступил в редакцию 22 мая 2013 г.

English

APPLICATION OF WATER CURTAIN FOR RESTRICTION OF HAZARDOUS POLLUTANTS IN THE ATMOSPHERE

BULVA A. D., Senior Lecturer of Management of Emergency Protection Department, State Educational Establishment "Institute for Command Engineers" of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus (Mashinostroiteley, 25, Minsk, 220118, Belarus Republic; e-mail address: Bulva@list.ru)

ABSTRACT

In order to limit the emission of chemical, fire and explosive substances in the atmosphere water units, created by using of various engineering means (hose sprayers, spray guns, turbine and fan nozzles and so on), are used the most widely. According to the analysis of published data the greatest effect of their usage is due to the involvement of water jets of air with hazardous impurities with its subsequent mixing and dispersion.

The study includes a simple mathematical model to calculate the velocity of air entrainment by rising water jets. We created a program in MathCAD environment by which the numerical simulation of air entrainment by rising water jets, formed from the spray hose, was performed. In addition, the study shows that despite the presence of the air entrainment effect in the spray jet, it can not significantly affect the limitation of the dangerous pollutants emission in the atmosphere to form small velocities.

Also the study proposes the method of estimating the amount of stirring air by spraying water jets. Based on the obtained dependence, we carried out the comparative analysis of various means for

mixing air with dangerous impurities. As a comparative test we introduced the efficiency ratio of water curtain (water usage ratio). Based on the obtained characteristics of the spray by mixing air atomized water jets, we proposed the method of calculating the required number of nozzles for making water curtain in the aftermath of emergencies caused by spillage of fire, explosion and hazardous chemical substances, we gave an example of the calculation.

Keywords: spray; water curtain; efficacy; air entrainment; air mixing; emergency; hazardous pollutants; dispensers.

REFERENCES

1. Ivanov E. N. *Protivopozharnoye vodosnabzheniye* [Fire water supply]. Moscow, Stroyizdat, 1986. 316 p.
2. Rana M. A. *Forced dispersion of liquefied natural gas vapor clouds with water spray curtain application*. PhD diss. Texas, 2009. 232 p.
3. Van Doorn M. *The control and dispersion of hazardous gas clouds with water sprays*. PhD thesis. Delft, Netherlands, Delft University of Technology, 1981.
4. Heskestad G., Kung H. C., Todtenkopf N. Air entrainment into water sprays. *Factory Mutual Research Corporation Report RC77-TP-7*, November 1977.
5. Palazzi E., Curro F., Pastorino R., Fabiano B. Liquid spray curtains design to contain and mitigate toxic and flammable jets and releases. *Proc. 11th International Loss Prevention Symposium "Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries"*. Praha, Czech Republic, 2004, pp. 3127–3136.
6. Kotov G. V., Golub O. V. *Naturnyye ispytaniya po opredeleniyu effektivnosti vliyaniya vodyanykh zaves na rasprostraneniye hlora v prizemnom sloye vozdukha* [Full-scale tests to determine the effectiveness of the influence of water curtains on the distribution of chlorine in the lower atmosphere]. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya — Emergency situations: prevention and elimination*, 2011, vol. 1, no. 29, pp. 23–31.
7. Kotov G. V., Eremin A. P. *Opredeleniye koeffitsienta propuskaniya vodyanykh zaves pri likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy, svyazannykh s prolivom ammiaka* [Determination of transmittance water curtains in emergency situations related to the spillage of ammonia]. *Oraldyn gylym zharshysy=Ural. Nauch. Vestn. — Ural Scientific Bulletin*, 2007, no. 2, pp. 44–50.
8. Kotov G. V., Fesenko S. P., Golub O. V. *Lokalnyy koeffitsient sherokhovatosti poverkhnosti pri postanovke vodyanykh zaves i rasseivaniye primesi* [The local surface roughness coefficient in setting water curtains and impurity scattering]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus — Bulletin of the Command-Engineering Institute of Belarus Republic Emercom*, 2011, vol. 14, no. 2, pp. 19–26.
9. *Senchishak T. I. Zashchitnyye vodyanye zavesy dlya borby s gazoparovozdushnymi oblakami goryuchikh gazov i toksichnykh veshchestv: dis. kand. tekhn. nauk* [Protective water units to fight with combustible gases clouds and toxic substances. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection, 2003. 170 p.
10. Karpenchuk I. V., Zanevskaya Yu. V. *Differentsialnyye uravneniya odnomernogo sredennogo dvizheniya raspylennoy strui zhidkosti* [Differential equations of one-dimensional mean flow spray of liquid]. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya — Emergency situations: prevention and elimination*, 2005, vol. 17, no. 7, pp. 14–20.
11. Fisenko S. P., Brin A. A., Petrukhin A. I. *Evaporative cooling of water in a mechanical draft cooling tower*. *Intern. J. of Heat and Mass Transfer*, 2004, vol. 47, no. 1, pp. 165–177.
12. Pazhi D. G., Galustov V. S. *Osnovy tekhniki raspylivaniya zhidkostey* [Basic techniques of spraying liquids]. Moscow, Khimiya Publ., 1984. 256 p.
13. Yushchenko Yu. N., Lapin K. I. *Tekhnicheskiye trebovaniya k kachestvu raspylivaniya vody ustanovkami pozharotusheniya* [Technical requirements for the quality of water spraying by fire-extinguishing systems]. *Gornospasatelnoye delo — Mine Rescue Work*, 2011, no. 48, pp. 95–105.
14. Clift R., Grace J. R., Weber M. E. *Bubbles, Drops, and Particles*. New York, Academic Press, 1978.
15. Meroney R. N., Neff D. E. Numerical modelling of water spray barriers for dispersing dense gases. *J. Boundary Layer Meteorology*, 1985, vol. 31, pp. 233–247.
16. *On the approval of the methodology for calculating the forces and means for raising water curtain in the aftermath of emergencies associated with the chlorine spillage: the Emergency situations Ministry Order on 27 September 2011 No. 210*. Consultant Plus: Professional Technology Version 3000 [Electronic Resource], LLC "UrSpectr". Moscow, 2013 (in Russian)
17. *Management Document 52.04.253–90. The method of predicting extent of the infestation highly toxic substances in case of accidents (destruction) on chemically hazardous facilities and transport*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1991. 23 p.

**ВОПРОС:**

Какой информацией необходимо располагать для оценки уровня опасности производственных зон на объектах со взрывоопасной технологией?

ОТВЕТ:

Методика оценки уровня опасности производственных зон основана на расчетных значениях параметров, связанных с пространственными и временными характеристиками существования в них взрывоопасных газовых сред. Методика распространяется на производственные зоны внутри и вне помещений, включая транспортные средства и хранилища, и устанавливает порядок классификации этих зон по степени опасности возникновения взрыва от источников воспламенения, связанных с использованием электрооборудования. Для определения уровня опасности производственных зон в соответствии с ГОСТ ИЕС 60079-10-1-2011 [1] проводят количественную оценку влияния на класс взрывоопасности и размеры взрывоопасной зоны различных факторов, характеризующих свойства и состояние взрывоопасных смесей, особенности технологического оборудования, параметры вентиляции и т. д.

В первую очередь проводится классификация взрывоопасных зон, исходя из определения зон классов 0, 1 и 2 (см. ст. 19 № 123-ФЗ [2]). Для этого определяется совокупность значений — возможной частоты и длительности утечки (а следовательно, и ее степени), скорости истечения и концентрации горючего вещества, надежности вентиляции и других факторов, влияющих на уровень взрывоопасности зоны.

Важно отметить, что классификация взрывоопасных зон должна выполняться специалистами, знающими свойства горючих газов и паров, технологический процесс и оборудование, в сотрудничестве с инженерами пожарной безопасности, электриками и другим техническим персоналом.

Для определения источника и степени утечки проводится детальный анализ каждого элемента технологического оборудования. Выделяются элементы оборудования, содержащие внутри взрывоопасную газовую смесь. Далее определяются источники утечки горючих веществ, в результате чего взрывоопасная газовая смесь может образоваться снаружи. По полученным данным устанавливается степень утечки (постоянная утечка, первой степени, второй степени).

Установив степень утечки, определяют ее интенсивность, которая зависит от следующих факторов: геометрии источника утечки (т. е. внешнего вида места утечки), скорости истечения и концентрации горючего вещества, испаряемости и температуры горючей жидкости.

Имея информацию о степени и об интенсивности утечки, можно оценить не только класс, но и размеры взрывоопасной зоны. При этом данная оценка осуществляется без учета вентиляции (т. е. воздушных потоков).

Необходимо иметь в виду, что с увеличением уровня вентиляции размеры взрывоопасной зоны могут быть уменьшены. Причиной тому служит разбавление горючего газа или пара вблизи источника утечки за счет дисперсии или диффузии в воздухе до такой степени, что его концентрация может стать ниже нижнего концентрационного предела воспламенения. Поэтому для оценки опасности производственных зон необходимо в обязательном порядке учитывать уровень вентиляции.

Выделяют два вида вентиляции — естественную (поток воздуха, создаваемый ветром) и искусственную (поток от работы вентиляционного оборудования). Эффективность вентиляции для регулирования рассеивания взрывоопасной смеси зависит от ее уровня и готовности, а также от конструкции самой системы.

Выделяют три уровня вентиляции — высокий, средний и низкий¹. Уровень вентиляции определяется по расчетному значению гипотетического объема V_z (см. прил. В [1]). Величина V_z представляет собой объем пространства вокруг источника утечки, в котором концентрация взрывоопасной смеси газа или пара будет выше нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР).

Значительное влияние на образование и присутствие взрывоопасной смеси оказывает также готовность вентиляции². По готовности вентиляцию разделяют на три уровня:

хороший: вентиляция присутствует постоянно;

средний: вентиляция присутствует при нормальных условиях эксплуатации, допускаются ее перерывы при условии, что они нечастые и кратковременные;

плохой: вентиляция не отвечает требованиям первого и второго уровней готовности, при этом длительные перерывы ее не ожидаются.

Примечания:

¹ Под *уровнем вентиляции* подразумевается интенсивность проветривания места утечки, или, другими словами, скорость разбавления воздухом взрывоопасного пара или газа в зоне утечки. Чем интенсивнее проветривается (разбавляется воздухом) взрывоопасная зона, тем уровень вентиляции более высокий.

² Под *готовностью вентиляции* подразумевается время работы или проветривания помещения или места утечки. Это понятие распространяется и на естественную, и на искусственную вентиляцию. Готовность естественной вентиляции — это, по сути, время присутствия потоков воздуха, создаваемых ветром у места утечки. Если место утечки постоянно

проветривается, то готовность вентиляции хорошая, и т. д. Готовность искусственной вентиляции — это, по сути, время работы оборудования, которое создает потоки воздуха в зоне утечки. Если оборудование постоянно работает, то готовность искусственной вентиляции хорошая, и т. д.

Оценка готовности при естественной вентиляции для наружных условий основывается на предполагаемом значении минимальной скорости ветра 0,5 м/с, которая существует практически постоянно. В этом случае готовность вентиляции является хорошей. Готовность искусственной вентиляции принимается хорошей, если при авариях автоматически включаются запасные вентиляторы.

Еще одним важным фактором для окончательного определения размеров и классов взрывоопасных зон является относительная плотность газа или пара при утечке. Если газ или пар легче воздуха, он будет подниматься вверх, а если тяжелее воздуха — скапливаться на уровне земли. С увеличением относительной плотности газа или пара протяженность зоны будет возрастать в горизонтальном направлении на уровне земли, а с уменьшением — в вертикальном направлении над источником.

В связи с этим необходимо всегда учитывать возможность того, что газ, который тяжелее воздуха, может скапливаться на участках ниже уровня земли (например, в колодцах, канавах или дренажных системах), а газ, который легче воздуха, — в помещениях на высоте (например, на чердаках или непосредственно под кровлей), и, следовательно, образовывать взрывоопасные зоны или увеличивать их размеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ ИЕС 60079-10-1-2011. Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды: введ. 15.02.2013 г. — М.: Стандартинформ, 2013.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 10.07 2012 г.): Федер. закон РФ от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.

*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***

КОНЦЕПТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОГНЕТУШИТЕЛЯ FINE



Известно много случаев, когда пожарная сигнализация не спасала хозяев квартиры: пожарные приезжали слишком поздно. Концепт интеллектуального робота-огнетушителя **FINE (First Intelligent Extinguisher)** призван решить эту проблему. Этот робот послужит хорошим дополнением к датчику дыма, ведь он начнет пожаротушение до приезда пожарных.

Робот, созданный начинающим дизайнером Баптистом Ланном (Baptist Lanne), оснащен датчиками, определяющими место возгорания, и способен доехать до него, огибая препятствия, возникающие на пути. Добравшись до огня, огнетушитель FINE приступит к тушению. Таким

образом, пожарная безопасность увеличивается в разы: огонь может быть потушен окончательно в самом зародыше, даже если никого нет дома.



Первый интеллектуальный огнетушитель можно использовать и как традиционный, если возгорание началось в Вашем присутствии.

<http://www.novate.ru/blogs/081009/13128/>

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов; проблемные обзоры и краткие сообщения; комментарии к нормативно-техническим документам; справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность. В начале работы (например, во введении) целесообразно кратко изложить состояние проблемы и место в ней данной задачи. В конце публикации должны быть сделаны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по электронному адресу (info@fire-smi.ru), а также в бумажном виде по почте (121352, Российская Федерация, г. Москва, а/я 43). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана авторами.

2. Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

2.1. Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

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

2.3. Информация об авторах.

2.3.1. Имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью, на русском языке и в транслитерации). Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

2.3.2. Степени, звания, должность, адресные сведения о месте работы всех авторов (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: официальное полное название организации вместе с ведомством, к которому оно принадлежит (при переводе — желательно его официально принятый английский вариант), индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес хотя бы одного из авторов. Все почтовые сведения на иностранном языке (кроме наименования улицы, которое должно быть в транслитерированном виде) должны быть представлены на английском языке, в том числе название города и страны.

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

2.4. Аннотация на русском языке (не менее 4–5 предложений).

2.5. Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);

- содержательным (должны излагаться существенные результаты работы; не должен включаться материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “*The study tested*”, но не “*It was tested in this study*”);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

Приветствуется структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи; метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для References можно предложить следующий формат:

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

Примеры описаний в References

Статьи из журнала:

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

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

Статьи из электронного журнала:

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

Статьи с DOI:

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

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

Статьи из периодического издания (сборника трудов):

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

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalina I. Z., Mukhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Svishnikov A. V. Osobennosti proyektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniym gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novyye resursosberegayushchiye tekhnologii nedropolzovaniya i povysheniya neftegazootdachi”* [Proc. 6th Int. Symp. “New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact”]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Книги (монографии, сборники):

Nenashev M. F. *Posledneye pravitelstvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

Переводные книги:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 472 p.).

Интернет-ресурс:

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources] Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (Accessed 7 February 2011).

Диссертации или авторефераты диссертаций:

Semenov V. I. *Matematicheskoye modelirovaniye plazmy v sisteme kompaktnyy tor*. Dis. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

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

Описание патента:

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

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

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

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

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

6. К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

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

8. Плата за публикацию работ с аспирантов не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

Безопасность Охрана труда



15-я специализированная
выставка



**26-28
ноября**

Место проведения:
**г. Екатеринбург,
МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»**



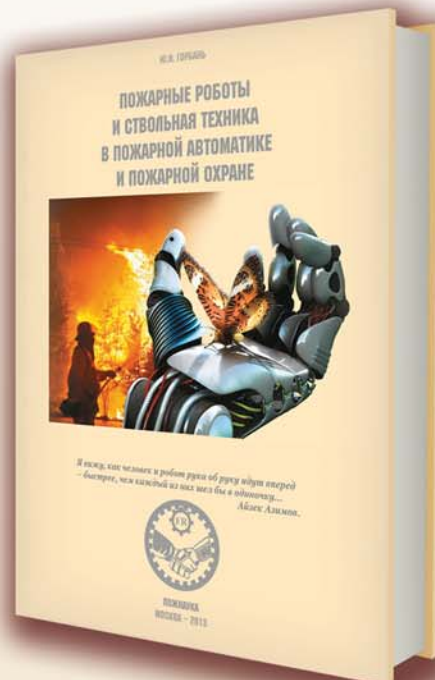
Организатор:
УРАЛЬСКИЕ ВЫСТАВКИ
Тел.: +7 (343) 310-03-30
www.uv66.ru

Ю. И. ГОРБАНЬ

**ПОЖАРНЫЕ РОБОТЫ И СТОЛЬНАЯ 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,

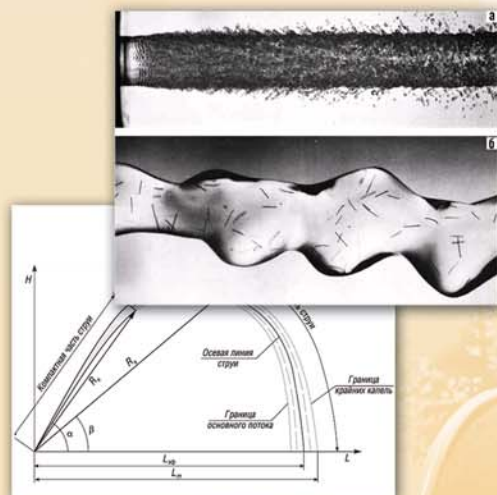
Разинское ш., д. 5, бизнес-центр “Вешняки”, офис 204

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>



- 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!**

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

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

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

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



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

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

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 2-е полугодие 2013 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 '2013

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2-е полугодие 2013 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”



БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ КОНКУРС «ЭТАЛОН БЕЗОПАСНОСТИ»
ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ В РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
ДЕНЬ МОНТАЖНИКА И ПРОЕКТИРОВЩИКА
БЕЗОПАСНОСТЬ БОЛЬШОГО ГОРОДА
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ОБЪЕКТОВ
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. НЕВСКИЙ ДИАЛОГ

Здесь определяется вектор безопасности

**12-15
НОЯБРЯ
2013**

Место проведения:
Санкт-Петербург, Ленэкспо



Sfitex

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

IS.CS

4-я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
ИНФОРМАЦИЯ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ



ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА
СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ
22-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Получите электронный
билет на сайте:

www.sfitex.ru

Организатор:



primexpo



+7 (812) 380 6009/00, SECURITY@PRIMEXPO.RU

Генеральный
интернет партнер:



консультант
в области безопасности

Медиа-партнер:



Информационная
поддержка:

