

2-2014

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСН  **СТЬ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ
АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ
В ГОРОДЕ



КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая



СИСТЕМЫ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

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

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

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

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

http: www.artsok.com

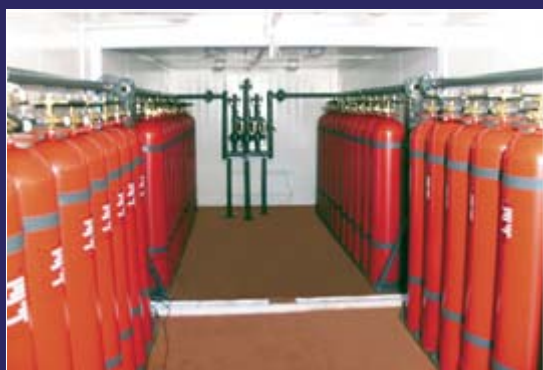
Система менеджмента качества сертифицирована как соответствующая требованиям 9001–2008



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



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



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



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



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

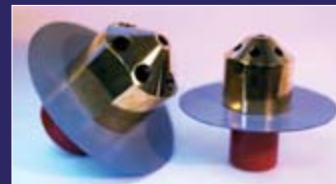


РЕКЛАМА

Распределительные устройства
(РУ) для комплектации АУГП
централизованного типа



Насадки для распыления
газовых огнетушащих веществ
(струйные и локальные)



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

ТУЖИКОВ Е. Н., ТЫРСИН А. Н.
Выбор факторов, влияющих на качество обеспечения
первичных мер пожарной безопасности

5

TUZHNIKOV E. N., TYRSIN A. N.
Choice of the factors affecting the quality
of primary fire safety measures

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА

COMBUSTION AND EXPLOSION PROCESSES

ГЛУШКОВ Д. О., КУЗНЕЦОВ Г. В., СТРИЖАК П. А.
Теоретическая оценка устойчивости зажигания типичного
полимерного материала локальным источником энергии

10

GLUSHKOV D. O., KUZNETSOV G. V., STRIZHAK P. A.
Theoretical estimation of stability ignition
of typical polymeric material by local energy source

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

ШУРКОВА Е. Н., ВОЛЬНЫЙ О. С.,
ЛУЦЕНКО А. Н., БАРБОТКО С. Л.
Сравнительная оценка пожаробезопасности ПКМ
для изготовления конструктивных элементов
летательных аппаратов

20

SHURKOVA E. N., VOLNYJ O. S.,
LUTSENKO A. N., BARBOTKO S. L.
Comparative evaluation of fire polymer composite
materials used to the manufacture of structural
elements for aircrafts

ОГНЕЗАЩИТА

FIRE RETARDANCE

БАЛАКИН В. М., ИСЛЕНТЬЕВ С. В.,
ГАРИФУЛЛИН Д. Ш., ВЛАСОВА Н. М.
Огнезащитные составы для древесины на основе
азотсодержащих продуктов аминолитиза поликарбоната

28

BALAKIN V. M., ISLENTYEV S. V.,
GARIFULLIN D. Sh., VLASOVA N. M.
Phosphorus-containing fireproof compositions for wood on basis
of nitrogen compound products of aminolysis of polycarbonate

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

FIRE MODELING

СИТНИКОВ И. В., ГОЛОВИНСКИЙ П. А., ОДНОЛЬКО А. А.
Интегральная модель динамики пожара
при неустановившемся режиме горения толуола

34

SITNIKOV I. V., GOLOVINSKIY P. A., ODNOLKO A. A.
Integrated dynamical model of fire for unstabilized
burning of toluene

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

МИШУЕВ А. В., КАЗЕННОВ В. В.,
КОМАРОВ В. В., ГРОМОВ Н. В., ГУСАК Л. Н.
Пожаровзрывоопасность автозаправочных станций в городе

45

MISHUEV A. V., KAZENNOV V. V.,
KOMAROV V. V., GROMOV N. V., GUSAK L. N.
Fire-and-explosion hazard of gas stations

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

БУБНОВ А. Г., КУРОЧКИН В. Ю.,
МОИСЕЕВ Ю. Н., СЕМЕНОВ А. Д.
Использование показателей риска
для выбора аварийно-спасательного оборудования

50

BUBNOV A. G., KUROCHKIN V. Yu.,
MOISEEV Yu. N., SEMENOV A. D.
Risk and reliability criteria for selecting fire-fighting
rescue equipments

СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

КАЙБИЧЕВА Е. И., КАЙБИЧЕВ И. А.
Индекс среднего времени свободного горения
в Российской Федерации за 2006–2010 годы

56

KAIBICHEVA E. I., KAIBICHEV I. A.
Index of the average time free fires
in Russian Federation for 2006–2010 years

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

FIRE AUTOMATIC

ГОРБАНЬ Ю. И., СИНЕЛЬНИКОВА Е. А.
Пожарная команда XXI века

62

GORBAN Yu. I., SINELNIKOVA Ye. A.
Fire brigade of XXI century

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ШАРОВАРНИКОВ А. Ф.
Тушение пожаров инертными газами
в модели помещения с проемами

65

KOROL'CHENKO D. A., SHAROVARNIKOV A. F.
Fire extinguishing by inert gases in the model
of room with openings

КУКУЕВА В. В.
Квантово-химическое исследование галогенсодержащих
углеводородов, проявляющих огнетушащий эффект

73

KUKUEVA V. V.
Quantum-chemical research of halogen containing
hydrocarbons which have fire extinguishing effect

ДИСКУССИИ

DISCUSSION

ТИМОШИН В. С.
Кто защитит пожарную безопасность?

81

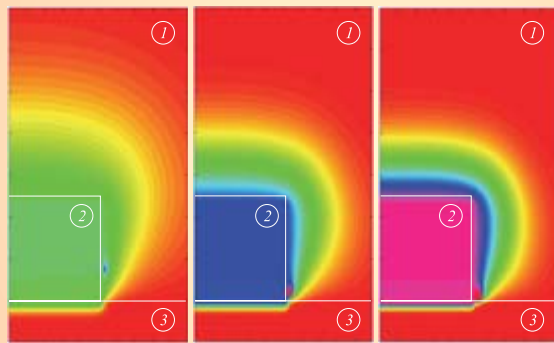
TIMOSHIN V. S.
Who will protect fire safety?

ВОПРОС – ОТВЕТ

85

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.



Теоретическая оценка устойчивости зажигания



Пожаробезопасность ПКМ для изготовления самолетов

Стр. 10

Стр. 20



Огнезащитные составы для древесины

Стр. 28



Пожаровзрывоопасность автозаправочных станций

Стр. 45

Стр. 62



Пожарная команда XXI века

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

Меркулов В. А., к. т. н. (Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

Учредитель — ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

Тел./факс: (495) 228-09-03,

8-909-940-01-85.

121352, г. Москва, а/я 43.

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

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

Подписано в печать 07.02.2014.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.

**Founder:**

"POZHNAUKA" Publishing House, Ltd.

Editorial Staff:

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

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

Address of Editorial Staff:

Post office box 43,
Moscow, 121352, Russia

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

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

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

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

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

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

Signed for printing 07.02.2014
Format is 60x84 1/8
Printing is 5 000 copies
Chalk-overlay mat paper
Offset printing

Chairman of Editorial Board:

Korol'chenko A. Ya.,

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

Deputy Chairman of Editorial Board:

Molkov V. V.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

Editorial Board:

Baratov A. N.,

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

Barbin N. M.,

Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Brushlinskiy N. N.,

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

Gorban Yu. I.,

General Director – Chief Designer (Russia)

Kiryukhantsev Ye. Ye.,

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Korol'chenko D. A.,

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

Leybman M. Ye.,

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

Merkulov V. A.,

Candidate of Technical Sciences (Russia)

Mishuev A. V.,

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

Roytman V. M.,

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

Senin N. I.,

Candidate of Technical Sciences, Professor (Russia)

Serkov B. B.,

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

Puzach C. V.,

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

Telichenko V. I.,

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

Topolskiy N. G.,

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

Tychino N. A.,

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

Kholshchevnikov V. V.,

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

Shebeko Yu. N.,

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

Thomas Jim Shields,

Professor (Great Britain)

Е. Н. ТУЖИКОВ, преподаватель кафедры организации надзорной деятельности Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Fireman87@bk.ru)

А. Н. ТЫРСИН, д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник Научно-инженерного центра "Надежность и ресурс больших систем и машин" УрО РАН (Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54а; e-mail: at2001@yandex.ru)

УДК 614.849

ВЫБОР ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ МЕР ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассмотрен порядок выбора факторов, влияющих на качество обеспечения первичных мер пожарной безопасности, осуществляемых органами местного самоуправления на территории рассматриваемого муниципального образования, в зависимости от весовых коэффициентов значимости каждого из факторов. Описан порядок определения минимального требуемого количества респондентов, необходимых для проведения статистического опроса. Приведен порядок выбора факторов на примере одного из муниципальных образований — Арамильского городского округа Свердловской обл. По выбранным факторам проведен анализ состояния пожарной безопасности муниципального образования.

Ключевые слова: фактор; муниципальное образование; первичные меры пожарной безопасности.

Одной из важных задач в области пожарной безопасности является выявление факторов, в наибольшей степени влияющих на возникновение пожаров [1–3]. Так как пожарная опасность Российской Федерации в целом определяется состоянием пожарной опасности отдельных муниципальных образований (далее — МО), то представляется целесообразным, что предлагаемые решения в области пожарной безопасности должны быть ориентированы в первую очередь на повышение эффективности деятельности органов местного самоуправления (далее — ОМС) по реализации первичных мер пожарной безопасности.

Если прогнозируемый ущерб от пожаров за текущий год существенно превышает фактический, то можно говорить о неэффективном обеспечении первичных мер пожарной безопасности в конкретном муниципальном образовании [4]. В связи с этим необходимо:

- установить причину увеличения фактического суммарного ущерба от пожаров;
- провести мониторинг качества выполнения мероприятий по обеспечению первичных мер пожарной безопасности.

Мониторинг качества выполнения мероприятий по обеспечению первичных мер пожарной безопасности проводится на основе выборочных статистических наблюдений. В качестве экспертов выступают выбранные случайным образом жители МО,

поскольку только они могут знать, насколько качественно выполняются мероприятия по обеспечению первичных мер пожарной безопасности на их родной земле.

Для того чтобы выявить основные факторы, влияющие на возникновение пожаров, необходимо в каждом МО отдельно провести опрос жителей — анкетирование.

Показатели, входящие в оценочную систему, должны характеризовать объект исследования в интересующих исследователя направлениях. Поскольку в нашем случае показатели предназначены для оценки качества выполнения мероприятий по обеспечению первичных мер пожарной безопасности на территории МО, они должны быть доступны для понимания как экспертам, так и руководителям соответствующих подразделений (администраций МО, МЧС России) и способствовать выработке и принятию эффективных управленческих решений.

На основании анализа имеющихся данных по пожарам на территории МО можно сделать вывод, что основными факторами, влияющими на обеспечение первичных мер пожарной безопасности на территории МО, являются факторы, приведенные в табл. 1.

Жителям МО предлагается заполнить анкету, в которой необходимо дать оценку факторам (см. табл. 1) по 4-балльной системе (табл. 2) в зависимости от важности и степени влияния каждого из них на качество выполнения мероприятий по обеспечению

Таблица 1. Факторы, влияющие на обеспечение первичных мер пожарной безопасности

№ п/п	Фактор	Баллы
1	Общая протяженность автодорог и качество дорожного покрытия	
2	Качество работы сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС России	
3	Число жителей муниципального образования, задействованных в муниципальной и добровольной пожарной охране	
4	Количество исправной спецавтотехники на вооружении муниципальной и добровольной пожарной охраны	
5	Количество граждан, ведущих асоциальный образ жизни	
6	Число жителей муниципального образования, обученных мерам пожарной безопасности	
7	Качество работы органов местного самоуправления по профилактике пожаров	
8	Количество источников противопожарного водоснабжения, содержащихся в надлежащем состоянии	
9	Количество в исправном состоянии средств обеспечения пожарной безопасности жилых и общественных зданий, находящихся в муниципальной собственности	
10	Количество исправных средств связи и оповещения населения о пожаре	
11	Проведение противопожарной пропаганды и агитации через СМИ	
12	Качество надзора, осуществляемого надзорными органами в области обеспечения пожарной безопасности в отношении органов местного самоуправления	
13	Загромождение путей следования пожарной техники на пожар, отсутствие свободного подъезда к жилым зданиям	

Таблица 2. Шкала оценки факторов

Баллы	Интерпретация
0	Практически не влияет
1	Скорее нет, чем да
2	Скорее да, чем нет
3	Безусловно, влияет

печению первичных мер пожарной безопасности на территории МО.

Факторы, приведенные в табл. 1, отражают основные виды деятельности ОМС по обеспечению первичных мер пожарной безопасности, которые должны соблюдаться на территории МО.

Для проведения корректного статистического исследования следует оценить минимальное количество респондентов, которое необходимо опросить. Для этого надо провести выборочное обследование методом случайного бесповторного отбора.

Минимальное число опрашиваемых экспертов n должно удовлетворять неравенству [5]:

$$n > \frac{t^2 \sigma^2 N}{\Delta^2 N + t^2 \sigma^2}, \quad (1)$$

где t — критерий Стьюдента (коэффициент доверия) [6], который находится из условия $\Phi(t) = P(|T| \leq t_{1-\alpha})$, $T \sim N(0; 1)$; $t = 2$ для уровня значимости $\alpha = 0,05$;

σ^2 — выборочная дисперсия, полученная в ходе пробного обследования;

N — объем генеральной совокупности; в нашем случае это количество жителей в каждом из 58 МО Свердловской обл., входящих в группу “Городские округа”, чел.;

Δ — предельная ошибка выборки, которая измеряется в принятой шкале, в нашем случае в баллах.

Таким образом, получаем случайную бесповторную репрезентативную выборку. Результаты исследования позволят оценить на основе разработанных критериев качество обеспечения первичных мер пожарной безопасности.

Численность населения N для МО, входящих в группу “Городские округа”, принимаем согласно [7].

Предельную ошибку выборки Δ находим по формуле

$$\Delta = t \sqrt{\sigma^2 / n}. \quad (2)$$

Выборочную дисперсию σ^2 вычисляем как

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}, \quad (3)$$

где x_i — частные значения результата статистического опроса;

$\bar{x}$ — среднее значение выборки.

Среднее значение выборки $\bar{x}$ определяем по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}. \quad (4)$$

После того как проведены все необходимые вычисления, получаем необходимое минимальное количество экспертов n , которое следует опросить. Минимальное количество экспертов n для каждого МО из группы “Городские округа” составляет примерно 35 чел. Это объясняется тем, что дисперсия σ^2 и коэффициент доверия t слишком малы по сравнению с числом жителей N .

После того как определено минимальное количество экспертов, проводим анкетирование. Далее необходимо определить весовые коэффициенты значимости каждого фактора, чтобы выявить первоочередные направления деятельности по повышению уровня обеспечения первичных мер пожарной безопасности.

Для этого необходимо взять выборку баллов по всем факторам и определить сумму баллов S_k для каждого фактора по всем анкетам:

$$S_k = \sum_{i=1}^m \omega_{ik}, \quad (5)$$

где m — количество анкет, шт.;

ω_{ik} — результат i -го ответа о значимости k -го фактора; $\omega_{ik} \in \{0, 1, 2, 3\}$;

$k = 1, 2, \dots, l$;

l — число факторов.

Чтобы определить весовые коэффициенты каждого из факторов, необходимо разделить сумму баллов за каждый фактор на общую сумму баллов. Эксперты оценивают каждый фактор по четырех-балльной шкале (см. табл. 2).

Коэффициент значимости каждого фактора ρ_k вычисляем по формуле

$$\rho_k = S_k / S, \quad (6)$$

где ρ_k — весовой коэффициент значимости каждого фактора в повышении пожарной безопасности, определяемый экспертным путем; $\rho_k \in [0; 1]$, причем $\sum \rho_k = 1$;

S — общая сумма баллов по всем анкетам:

$$S = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l \omega_{ik}. \quad (7)$$

Таким образом, были определены первоочередные проблемные факторы, влияющие на возникновение пожаров. В зависимости от того, какие факторы становятся первоочередными, будем предлагать комплекс конкретных мероприятий по повышению качества обеспечения первичных мер пожарной безопасности на территории МО.

В качестве примера рассмотрим, как проводился выбор факторов, влияющих на обеспечение первичных мер пожарной безопасности на территории одного из МО — Арамилского городского округа Свердловской обл. (далее — Арамилский ГО).

По формуле (1) было установлено необходимое минимальное число опрашиваемых экспертов, после чего было проведено анкетирование 35 жителей Арамилского ГО. В результате обработки анкет была получена выборка баллов, представленная в табл. 3.

Для определения весовых коэффициентов значимости каждого из факторов необходимо определить сумму всех баллов. Согласно формуле (5) сумма

Таблица 3. Таблица ответов жителей Арамилского ГО Свердловской обл. на вопросы анкеты

Номер отвечающего эксперта	Номер вопроса (фактора)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	2	1	2	1	2	1	2	0	0	1	2	0
2	0	1	1	1	1	2	1	1	3	2	1	1	1
3	3	2	2	1	1	1	1	1	3	3	1	2	2
4	1	1	1	1	1	1	0	1	3	2	1	0	3
5	2	2	1	2	3	2	3	2	2	3	2	2	1
6	0	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
7	0	2	1	1	1	3	1	0	3	2	2	1	0
8	2	2	2	2	2	0	2	0	2	3	2	1	2
9	2	3	3	0	1	2	2	2	2	1	2	1	1
10	0	0	0	3	3	0	3	0	3	3	3	2	3
11	1	0	2	2	1	3	2	0	0	0	1	0	0
12	1	2	2	0	2	3	1	2	3	2	1	1	1
13	1	1	1	1	1	3	2	1	3	1	1	2	1
14	0	0	1	1	1	3	2	1	3	1	2	3	1
15	3	2	1	2	2	3	3	1	2	3	2	2	1
16	0	0	0	0	2	3	3	0	3	0	0	1	0
17	1	1	2	1	1	2	1	0	3	2	1	2	1
18	1	2	1	2	1	3	2	0	3	3	0	1	1
19	2	1	2	1	1	2	1	2	3	3	1	2	1
20	1	2	1	1	3	2	1	1	3	3	1	2	1
21	1	3	2	3	2	3	3	2	3	2	2	2	1
22	2	3	3	3	3	3	3	3	1	3	2	3	3
23	0	1	3	2	3	3	3	3	3	2	2	3	2
24	2	2	1	2	2	3	2	0	3	2	2	1	2
25	2	1	0	2	1	1	2	3	3	3	3	1	2
26	1	2	2	0	1	3	2	2	2	3	2	2	2
27	0	0	3	1	1	2	1	0	3	1	1	2	1
28	0	1	1	1	3	3	2	2	3	3	2	3	1
29	1	1	0	3	2	3	2	0	0	1	0	2	1
30	2	0	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
31	1	1	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2
32	2	3	1	3	2	1	2	2	2	3	2	2	3
33	3	0	0	3	1	3	2	0	3	0	0	2	2
34	1	3	2	2	3	3	3	1	1	3	3	2	1
35	2	2	1	1	1	2	2	1	3	2	2	2	1

всех баллов S равна 792. Теперь, чтобы вычислить значимость каждого из факторов ρ_k , необходимо по формуле (6) разделить сумму баллов за каждый вопрос S_k на общую сумму баллов S . Полученные весовые коэффициенты значимости факторов для Арамилского ГО представлены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, четко выраженные факторы, которые свидетельствовали бы об острой проб-

Таблица 4. Весовые коэффициенты значимости каждого фактора для Арамильского ГО Свердловской обл.

Номер фактора	Весовой коэффициент значимости	Значение	Номер фактора	Весовой коэффициент значимости	Значение
1	ρ_1	0,052	8	ρ_8	0,057
2	ρ_2	0,066	9	ρ_9	0,109
3	ρ_3	0,064	10	ρ_{10}	0,093
4	ρ_4	0,074	11	ρ_{11}	0,072
5	ρ_5	0,077	12	ρ_{12}	0,081
6	ρ_6	0,104	13	ρ_{13}	0,063
7	ρ_7	0,088			

леме в обеспечении первичных мер пожарной безопасности, отсутствуют. Мнения экспертов разделились примерно поровну между всеми факторами. Это можно объяснить тем, что Арамильский ГО располагается в непосредственной близости от столицы социально-экономического региона — Екатеринбурга, где обеспечение пожарной безопасности находится на приемлемом уровне в отличие от удаленных населенных пунктов, в которых складывается напряженная обстановка по числу пожаров, гибели и травмирования населения, а также по размеру ущерба от пожаров.

При всем при этом жители выделяют несколько значимых факторов, которые, по их мнению, в наибольшей степени влияют на возникновение и развитие пожаров на территории Арамильского ГО:

- 1) количество исправных средств обеспечения пожарной безопасности жилых и общественных зданий, находящихся в муниципальной собственности;

- 2) численность населения МО, обученного мерам пожарной безопасности;
- 3) количество исправных средств связи и оповещения населения о пожаре.

Таким образом, жителей Арамильского ГО в первую очередь беспокоит плохое состояние профилактики пожаров на территории, а именно неуккомплектованность или зачастую полное отсутствие каких-либо первичных средств тушения пожара в жилых и общественных зданиях. Значительная часть населения МО не имеет достаточных знаний в области пожарной безопасности, хотя согласно всем отчетам МЧС России по Свердловской обл. с населением регулярно проводится противопожарная пропаганда и агитация, направленные на ознакомление его с мерами и правилами пожарной безопасности. Напряженная обстановка складывается также с наличием и работоспособностью технических средств связи и оповещения населения о пожаре.

Выводы

1. Предложен подход к повышению качества обеспечения первичных мер пожарной безопасности, основанный на определении значимости факторов, влияющих на возникновение и развитие пожаров, с помощью анкетирования экспертов — жителей МО.

2. Данный подход позволяет конкретно определять существующие проблемы в обеспечении первичных мер пожарной безопасности и тем самым обосновывать целесообразность комплекса мероприятий по повышению качества обеспечения первичных мер пожарной безопасности на территории МО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов В. А., Лесных В. В., Радаев Н. Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. — М.: Деловой экспресс, 2004. — 352 с.
2. Краковский Ю. М., Могильников А. А. Ранжирование территорий с низким уровнем пожарной безопасности // Пожарная безопасность. — 2011. — № 1. — С. 131–137.
3. Фомин А. В., Тужиков Е. Н. Экспертный метод оценки деятельности органов местного самоуправления по реализации первичных мер пожарной безопасности // Научный электронный журнал “Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России”. — 2012. — № 2. — С. 27–34. URL: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V42/5.pdf> (дата обращения: 06.09.2013 г.).
4. Тужиков Е. Н., Тырсин А. Н. К вопросу оценивания общего экономического ущерба от пожаров // Научно-аналитический журнал “Проблемы управления рисками в техносфере”. — 2013. — № 4. — С. 66–72.
5. Дубина И. Н. Математические основы эмпирических социально-экономических исследований: учебное пособие. — Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2006. — 263 с.
6. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. — 9-е изд. — М.: Высшая школа, 2003. — 479 с.
7. Количество населения, проживающего в муниципальных образованиях. URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm> (дата обращения: 15.09.2013 г.).

Материал поступил в редакцию 8 ноября 2013 г.

CHOICE OF THE FACTORS AFFECTING THE QUALITY OF PRIMARY FIRE SAFETY MEASURES

TUZHNIKOV E. N., Lecturer of Department of Fire Supervision Organization, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail address: Fireman87@bk.ru)

TYRSIN A. N., Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Leading 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; e-mail address: at2001@yandex.ru)

ABSTRACT

Identification of factors that have the greatest impact on the occurrence of fires is one of the important tasks in the field of fire safety. As the fire danger of the regions of the Russian Federation is determined by the fire danger of their constituent municipalities, the solutions proposed in the field of fire safety are advised to be oriented first of all to the increase of efficiency of the local government bodies realizing primary measures of fire safety. Before the efficiency of activity of local governments can be enhanced it has to be assessed. Within the process of evaluation of the effectiveness one should choose between the factors which affect the effectiveness of the primary fire safety measures implementation.

The choice of the factors is carried out by means of the statistical survey of the residents. In order to make a choice of unknown factors in the territory of a particular municipality one should define the minimum required number of respondents. This is followed by an interview of respondents through a questionnaire characterizing the basic directions of activity of local governments in the field of primary fire safety measures implementation.

Upon completion of the survey data processing is carried out. Then the weights of each of the factors are determined. The last stage is the analysis of the obtained results, which are mapped to actual performance and facts, characterizing the state of fire safety on the territory of the municipality.

As a result, in accordance to the selected factors a set of specific measures aimed at increasing the efficiency level of primary fire safety measures implementation on the territory of a particular municipality is proposed. The fire management in the municipality thus is being implemented.

Keywords: factor; municipal formation; primary fire safety measures.

REFERENCES

1. Akimov V. A., Lesnykh V. V., Radaev N. N. *Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoy i tekhnogennoy sferakh* [Bases of analysis and risk management of natural and technogenic spheres]. Moscow, Delovoy Ekspress Publ., 2004. 352 p.
2. Krakovskiy Yu. M., Mogilnikov A. A. Ranzhированиye territoriy s nizkim urovnem pozharной bezopasnosti [Ranking territories with low level of fire safety]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2011, no. 1, pp. 131–137.
3. Fomin A. V., Tuzhikov E. N. Expertnyy metod otsenki deyatel'nosti organov mestnogo samoupravleniya po realizatsii pervichnykh mer pozharной bezopasnosti [Expert method of estimation of activity of local governmental bodies realizing primary fire safety measures]. *Nauchnyy elektronnyy zhurnal "Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii" — Scientifically-practical magazine "Bulletin of St.-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia"*, 2012, no. 2, pp. 27–34. Available at: <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V42/5.pdf> (Accessed 6 September 2013).
4. Tuzhikov E. N., Tyrsin A. N. K voprosu otsenivaniya obshchego ekonomicheskogo ushcherba ot pozharov [On the assessment of the total economic damage from fires]. *Nauchno-analiticheskiy zhurnal "Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere" — Scientifically-Analytical Magazine "Problems of Management of Risks in a Technosphere"*, 2013, no 4, pp. 66–72.
5. Dubina I. N. *Matematicheskiye osnovy empiricheskikh sotsialno-ekonomicheskikh issledovaniy: uchebnoye posobiye* [Mathematical foundations of the empirical socio-economic research. training manual]. Barnaul, Altai University Publ., 2006. 263 p.
6. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika*. 9-e izd. [The theory of probability and mathematical statistics. 9th ed.]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2003. 479 p.
7. *Kolichestvo naseleniya prozhivayushchego v munitsipalnykh obrazovaniyakh* [The number of population living in municipalities] Available at: <http://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst.htm> (Accessed 15 September 2013).

Д. О. ГЛУШКОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: dmitriyog@tpu.ru)

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

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

УДК 536.468

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЗАЖИГАНИЯ ТИПИЧНОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА ЛОКАЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

Выполнено численное исследование зажигания типичного термопластичного полимерного материала локальным источником ограниченного теплосодержания. Показано, что математическая модель процесса учитывает кондуктивный теплоперенос и термическую деструкцию в конденсированной фазе, диффузионно-конвективный тепломассоперенос и окисление газообразных продуктов пиролиза полимерного материала в воздухе. В результате анализа интегральных характеристик процесса при варьировании начальной температуры источника энергии выделены три режима: газификация без зажигания с последующим прекращением пиролиза, устойчивое зажигание, неустойчивое зажигание (вспышка).

Ключевые слова: термопластичный полимер; локальный источник энергии; зажигание.

Введение

Анализ статистических данных [1–3] с целью установления характерных причин возникновения очагов возгораний на объектах промышленных предприятий, в жилых и общественных зданиях, а также на лесопокрываемых территориях позволяет сделать вывод, что большинство пожаров (в некоторых случаях до 80 %) возникает из-за непосредственного теплового взаимодействия малокалорийных источников энергии [1, 4] с конденсированными веществами или продуктами их газификации. Типичным примером источников локальных очагов возгораний являются углеродистые частицы, образующиеся при горении костров, работе печного отопления, а также металлические частицы, формирующиеся при резке, сварке, шлифовании металлов, заточке инструментов и других технологических процессах [5]. Как правило, такие частицы имеют форму неправильных многогранников с характерными размерами от 0,001 до 10 мм и находятся в твердом, реже в жидком агрегатном состоянии при температурах 1000–2000 К.

К настоящему времени в результате численных [6–11] и экспериментальных [12–14] исследований установлено, что одиночные, нагретые до вы-

соких температур металлические (сталь, алюминий) и неметаллические (керамика, углерод) частицы малых размеров способны инициировать горение высокоэнергетических материалов, например жидких [6, 7, 12, 13], гелеобразных [8, 9] и смесевых [10, 11, 14] топлив. Авторами [12–14] было зафиксировано устойчивое зажигание (с последующим стационарным горением) конденсированных веществ типичными источниками ограниченной энергоемкости в подавляющем большинстве экспериментов. Распространение пламени по поверхности соответствующих топлив отсутствовало лишь в предельных случаях, когда энергии, аккумулированной “горячей” частицей, было недостаточно для инициирования процесса. Полученные результаты позволяют предположить, что при локальном нагреве возможно зажигание не только высокоэнергетических материалов, но и веществ (например, полимеров), не предназначенных для горения.

Изделия на основе полимерных материалов (ПМ) достаточно широко применяются в качестве элементов декора при строительстве. Следует отметить, что большинство ПМ, производимых в России или ввозимых на территорию страны, подлежат обязательной сертификации на предмет соответствия

основным показателям пожарной опасности, в частности воспламеняемости, горючести, способности к распространению пламени и т. д. Тем не менее эти показатели отсутствуют в технических условиях в качестве обязательных параметров для большинства видов полимерной продукции. Данное обстоятельство при учете динамичного роста объемов потребления изделий из ПМ несет в себе угрозу возникновения и распространения пожаров.

Опубликованы результаты (интегральные характеристики и аппроксимационные выражения) численных исследований процессов газозафазного воспламенения полимеров при взаимодействии с высокотемпературными газами и потоками лучистой энергии [15–17]. Закономерности взаимодействия таких источников с ПМ имеют ряд особенностей.

Во-первых, при воздействии высокотемпературных газов или потоков излучения интенсивный нагрев ПМ может продолжаться в течение длительного периода времени. Нагретая же до высоких температур частица быстро остывает, и, соответственно, даже за малые интервалы времени интенсивность теплового потока, поступающего в зону возможного зажигания, существенно снижается.

Во-вторых, при прогреве ПМ высокотемпературными газами или излучением возможно исследование процессов зажигания в рамках относительно простых одномерных моделей, что не всегда обоснованно в случае локального нагрева полимеров источниками ограниченного теплосодержания.

В-третьих, движение внешней газовой среды способно вызвать частичный или полный унос размягченного в результате нагрева приповерхностного слоя вещества [15–17], что может оказать существенное влияние на выполнение условий зажигания последнего. Но в условиях локального нагрева возможно также зажигание материала при высоких температурах только в его очень тонком приповерхностном слое. При малых глубинах прогрева ПМ зажигание может быть неустойчивым, и тогда притока газообразных продуктов термического разложения полимерного материала будет недостаточно для поддержания в дальнейшем процесса горения.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что оценка интегральных характеристик зажигания ПМ источниками ограниченной энергоемкости возможна лишь после анализа условий устойчивости этого процесса. Поэтому целью работы является оценка устойчивости зажигания типичного термопластичного полимерного материала при локальном нагреве одиночной “горячей” частицей.

Далее под термином “устойчивое зажигание” понимается режим взаимодействия конденсированного вещества с источником энергии, при котором стадия инициирования горения на отдельном

малом по размерам участке поверхности ПМ сменяется последующим распространением пламени по всей его поверхности.

Постановка задачи

Условная схема системы *частица – ПМ – газ* представлена на рис. 1. Размеры области решения ($x = l, y = h$) значительно превосходят размеры локального источника ($x_p = x_1, y_p = y_2 - y_1$). Предполагалось, что в начальный момент времени ($t = 0$) одиночная, нагретая до высоких температур T_p металлическая (стальная) частица в форме параллелепипеда малых размеров инерционно осажается на поверхность типичного термопластичного полимера — полиметилметакрилата (ПММА). Начальная температура полимерного материала T_0 существенно ниже начальной температуры источника энергии. За счет тепла, аккумулированного частицей, в течение некоторого времени t_r , происходит инертный прогрев приповерхностного слоя ПММА. При достижении температуры пиролиза вблизи границы контакта ПМ с локальным источником инициируется эндотермический процесс термической деструкции ПММА. Выделяющиеся при этом газообразные продукты пиролиза полимера за счет диффузионно-конвективного массопереноса перемешиваются с окислителем (воздухом). Концентрация горючего в газовой смеси с течением времени ($t_r < t < t_d$) возрастает в результате увеличения глубины прогрева и, соответственно, интенсивности пиролиза ПМ. Дополнительный прогрев относительно “горячей” (за счет теплоты продуктов термической деструкции) газовой смеси происходит при ее движении вдоль боковых граней источника энергии ($x = x_1, y_1 < y < y_2$) (см. рис. 1). При достижении достаточных для воспламенения концентраций горючих компонентов и температуры газовой смеси реакция окисления принимает необратимый характер. В результате происходит газозафазное зажигание (в момент времени t_d).

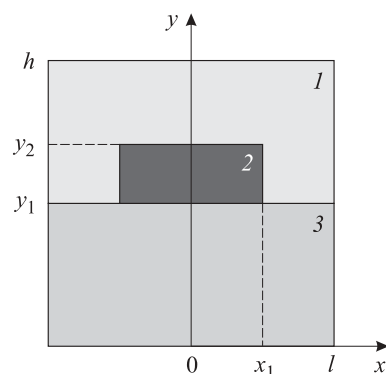


Рис. 1. Схема области решения задачи при $t_r < t < t_d$: 1 — газовая смесь; 2 — “горячая” частица; 3 — полимерный материал

Принимались следующие условия воспламенения [18], учитывающие специфику отвода тепла от “горячей” частицы:

- энергия, выделяемая в результате реакции окисления газообразных продуктов термического разложения ПМ, больше теплоты, передаваемой от источника энергии полимеру и формирующейся газовой смеси;
- температура газовой смеси в зоне интенсивной реакции окисления превышает начальную температуру источника энергии.

При численном моделировании процесса зажигания приняты допущения, не накладывающие существенных ограничений на общность постановки задачи:

- 1) контакт между стальной частицей и полимером идеален (не учитывается возможное образование газового зазора между веществом и источником энергии);
- 2) в результате термической деструкции ПММА образуется одно вещество с известными теплофизическими и термохимическими характеристиками;
- 3) газоприход продуктов пиролиза ПМ с участка поверхности, закрытого частицей ($y = y_1$, $0 < x < x_1$), распределяется в непосредственной близости от источника энергии.

Математическая модель и метод решения

Взаимосвязанные процессы теплопереноса и термического разложения в конденсированной фазе, а также тепломассопереноса и окисления в газовой среде описываются системой нелинейных, нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных, соответствующей основным положениям общей теории тепломассопереноса в химической кинетике [19] и смешанной конвекции [20, 21]:

- уравнения неразрывности, движения, энергии, диффузии и баланса для газовой смеси ($x_1 < x < l$, $y_1 < y < y_2$; $0 < x < l$, $y_2 < y < h$) соответственно:

$$\partial^2 \psi / \partial x^2 + \partial^2 \psi / \partial y^2 = -\omega; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = v_1 \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) + \beta g_y \frac{\partial T_1}{\partial x}; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \rho_1 C_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial t} + u \frac{\partial T_1}{\partial x} + v \frac{\partial T_1}{\partial y} \right) = \\ = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} \right) + Q_1 W_1; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \rho_1 \left(\frac{\partial C_f}{\partial t} + u \frac{\partial C_f}{\partial x} + v \frac{\partial C_f}{\partial y} \right) = \\ = \rho_1 D_1 \left(\frac{\partial^2 C_f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_f}{\partial y^2} \right) - W_1; \end{aligned} \quad (4)$$

$$C_f + C_o = 1; \quad (5)$$

- уравнение теплопроводности для “горячей” частицы ($0 < x < x_1$, $y_1 < y < y_2$):

$$\rho_2 C_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} \right); \quad (6)$$

- уравнение энергии и химической кинетики для ПМ ($0 < x < l$, $0 < y < y_1$) соответственно:

$$\rho_3 C_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2} \right) - Q_3 W_3; \quad (7)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = (1 - \eta)^n k_3^0 \exp \left(-\frac{E_3}{RT} \right); \quad (8)$$

- объемные доли компонентов газовой смеси (воздуха и продуктов пиролиза ПМ):

$$\phi_o + \phi_f = 1; \quad \phi_f = \frac{C_f / \rho_f}{C_f / \rho_f + C_o / \rho_o}; \quad (9)$$

- теплофизические характеристики газовой смеси:

$$\begin{aligned} \lambda_1 = \lambda_f \phi_f + \lambda_o \phi_o; \quad C_1 = C_f \phi_f + C_o \phi_o; \\ \rho_1 = \rho_f \phi_f + \rho_o \phi_o. \end{aligned} \quad (10)$$

В уравнениях (1)–(10) приняты следующие обозначения:

ψ — функция тока, м²/с;

x, y — координаты декартовой системы, м;

ω — вектор вихря скорости, с⁻¹;

$\omega = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y$;

u, v — составляющие скорости газовой смеси в проекции на оси x, y , м/с; $u = \partial \psi / \partial y$; $v = \partial \psi / \partial x$;

t — время, с;

ν_1 — коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

β — коэффициент термического расширения, К⁻¹;

g_y — ускорение свободного падения, м/с²;

T_i — температура, К;

ρ_i — плотность, кг/м³;

C_i — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);

λ_i — теплопроводность, Вт/(м·К);

Q_1 — тепловой эффект реакции окисления газовой смеси, Дж/кг;

W_1 — массовая скорость реакции окисления газовой смеси, кг/(м³·с);

$W_1 = \rho_1 k_1^0 C_o^n C_f^m \exp(-E_1 / (RT_1))$;

k_1^0 — предэкспоненциальный множитель реакции окисления, с⁻¹;

n, m — постоянные; $n = m = 1$;

E_1 — энергия активации реакции окисления, Дж/моль;

R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

C_o, C_f — концентрация соответственно окислителя и горючего в газовой смеси;

D_1 — коэффициент диффузии компонентов термического разложения ПМ в воздухе, $\text{м}^2/\text{с}$;

$$D_1 = D_0 (T_1/273)^{1,7};$$

D_0 — коэффициент диффузии компонентов термического разложения ПМ в воздухе при 273 К, $\text{м}^2/\text{с}$;

Q_3 — тепловой эффект реакции термического разложения ПМ, Дж/кг;

W_3 — массовая скорость реакции термического разложения ПМ, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$;

$$W_3 = \int_0^{y_1} \eta \rho_3 k_3^0 \exp(-E_3/(RT_r)) dy;$$

η — доля вещества, способного к экзотермическому реагированию;

k_3^0 — предэкспоненциальный множитель реакции термического разложения, с^{-1} ;

E_3 — энергия активации реакции термического разложения, Дж/моль;

T_r — температура начала пиролиза ПМ, К;

Φ_o, Φ_f — объемная доля соответственно воздуха и газообразных продуктов термической деструкции ПМ;

индексы “o”, “f”, “1”, “2”, “3” соответствуют воздуху, газообразным продуктам пиролиза полимера, смеси воздуха с газообразными продуктами пиролиза ПМ, “горячей” частице, полимерному материалу.

Начальные условия ($t = 0$):

- $0 < x < l, 0 < y < y_1$:

$$T = T_0, \eta = 1;$$

- $0 < x < x_1, y_1 < y < y_2$:

$$T = T_p;$$

- $x_1 < x < l, y_1 < y < y_2; 0 < x < l, y_2 < y < h$:

$$T = T_0, C_f = 0, \psi = 0, \omega = 0.$$

Граничные условия ($0 < t < t_d$):

- $x = 0, x = l, 0 < y < y_1$:

$$\partial T_3 / \partial x = 0;$$

- $x = 0, y_1 < y < y_2$:

$$\partial T_2 / \partial x = 0;$$

- $x = 0, y_2 < y < h; x = l, y_1 < y < h$:

$$\begin{cases} \partial T_1 / \partial x = 0, \\ \partial C_f / \partial x = 0, \\ \partial \psi / \partial x = 0; \end{cases}$$

- $x = x_1, y_1 < y < y_2$:

$$\begin{cases} -\lambda_2 (\partial T_2 / \partial x) = -\lambda_1 (\partial T_1 / \partial x), \\ T_2 = T_1, \\ \partial C_f / \partial x = 0, \\ \partial \psi / \partial x = 0, \\ \psi = 0; \end{cases}$$

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

$$\partial T_3 / \partial y = 0;$$

- $y = y_1, 0 < x < x_1$:

$$\begin{cases} -\lambda_3 (\partial T_3 / \partial y) = -\lambda_2 (\partial T_2 / \partial y), \\ T_3 = T_2; \end{cases}$$

- $y = y_1, x_1 < x < l$:

$$\begin{cases} -\lambda_3 (\partial T_3 / \partial y) = -\lambda_1 (\partial T_1 / \partial y) + Q_1 W_1, \\ T_3 = T_1, \\ \rho_1 D_1 (\partial C_f / \partial y) = -W_3, \\ \partial \psi / \partial y = 0; \end{cases}$$

- $y = y_2, 0 < x < x_1$:

$$\begin{cases} -\lambda_2 (\partial T_2 / \partial y) = -\lambda_1 (\partial T_1 / \partial y), \\ T_2 = T_1, \\ \partial C_f / \partial y = 0, \\ \partial \psi / \partial y = 0, \\ \psi = 0; \end{cases}$$

- $y = h, 0 < x < l$:

$$\begin{cases} \partial T_1 / \partial y = 0, \\ \partial C_f / \partial y = 0, \\ \partial \psi / \partial y = 0. \end{cases}$$

Система дифференциальных уравнений с соответствующими начальными и граничными условиями решена методом конечных разностей. При решении уравнений эллиптического типа — неразрывности и движения использован аналогично [22, 23] метод переменных направлений. Разностные аналоги дифференциальных уравнений теплопроводности, энергии и диффузии решены локально-одномерным методом. Система одномерных разностных уравнений решена методом итераций при использовании неявной четырехточечной разностной схемы.

Для повышения точности вычисления интегральных характеристик по координате y устанавливалось не менее 200 узлов разностной сетки, причем в области границы ПМ — частица ($y = y_1 \pm \Delta y$, $\Delta y = 0,5$ мм) сетка сгущалась. По координате x устанавливалось не менее 100 узлов разностной сетки. Шаг по времени Δt составлял 10^{-6} с. Оценка достоверности результатов численного моделирования выполнялась проверкой консервативности используемой разностной схемы по методике, описанной в [7].

Результаты и их обсуждение

Математическое моделирование процесса зажигания выполнено при теплофизических характеристиках (табл. 1) и кинетических параметрах: $Q_3 = 0,941 \cdot 10^6$ Дж/кг, $E_3 = 0,13 \cdot 10^6$ Дж/моль, $k_3^0 = 2,82 \cdot 10^9$ с^{-1} ; $Q_1 = 25,9 \cdot 10^6$ Дж/кг, $E_1 = 0,089 \times 10^6$ Дж/моль, $k_1^0 = 89,3 \cdot 10^6$ с^{-1} , соответствующих термическому разложению ПММА и окислению

Таблица 1. Теплофизические характеристики веществ

Параметр	Воздух	Сталь	ПММА	Газ
C , Дж/(кг·К)	1190	470	1467	1006
λ , Вт/(м·К)	0,026	49	0,19	0,025
ρ , кг/м ³	1,161	7831	1200	1,29

продуктов деструкции полимера в газовой среде [15, 16, 24–26]. Теплофизические характеристики воздуха и материала частицы [27–29] представлены также в табл. 1. Остальные константы, используемые при расчетах, имеют следующие значения [27–29]: $\beta = 0,0009 \text{ К}^{-1}$, $\nu_1 = 14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $D_0 = 8,12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Начальная температура воздуха и ПМ $T_0 = 300 \text{ К}$, источника энергии $T_p = 700 \div 1500 \text{ К}$; температура пиролиза ПММА $T_r = 500 \text{ К}$; размеры “горячей” частицы: $x_p = 2,5 \text{ мм}$, $y_p = 2,5 \text{ мм}$; размеры области решения: $l = 10 \text{ мм}$, $h = 11 \text{ мм}$.

Известно [15], что стационарное горение ПМ типа полиметилметакрилата возможно при глубине “активного пиролиза” приповерхностного слоя не менее $(1 \div 2) \cdot 10^{-2} \text{ мм}$. Вполне обоснованно предположить, что размер зоны пиролиза ПМ $\Delta y_r = 10^{-2} \text{ мм}$ в момент воспламенения может быть принят в качестве первого приближения при выборе параметра, характеризующего устойчивость зажигания.

В табл. 2 приведены значения времени задержки зажигания t_d , глубины прогрева y_w и пиролиза y_r ПММА при изменении начальной температуры источника энергии T_p . Последняя характеризует энергетический запас “горячей” частицы [18] и, как следствие, развитие исследуемого процесса. При варьировании температуры источника установлены следующие режимы: газификация с последующим прекращением пиролиза ($T_p < 700 \text{ К}$); устойчивое зажигание ($700 \text{ К} \leq T_p \leq 1500 \text{ К}$); неустойчивое зажигание — вспышка ($T_p > 1500 \text{ К}$).

Для первого из перечисленных режимов относительно длительная (более 0,2 с) стадия инертного прогрева ПМ сопровождается значительным отводом тепла от источника энергии вдоль продольной и поперечной координат. При выполнении условий газификации полимера энергии “горячей” частицы из-за снижения ее температуры недостаточно для увеличения скорости реакции термического разло-

жения ПМ и, соответственно, интенсивности вдува горючих газов в среду окислителя. Поэтому с течением времени происходит монотонное затухание процесса пиролиза.

При устойчивом зажигании ПМ в результате инертного прогрева приповерхностного слоя и его последующей газификации в окружающей среде (см. рис. 1) формируется смесь горючего и окислителя. Тепло, выделяющееся при окислении газообразных продуктов термического разложения полимера, обеспечивает непрерывный прогрев вещества в окрестности зоны активного пиролиза Δy_r , а также интенсивную газификацию ПМ. Эти процессы в совокупности обуславливают распространение пламени по поверхности материала.

Последний из установленных режимов соответствует неустойчивому зажиганию. При взаимодействии ПММА с источником энергии вблизи границы $y = y_1$ (см. рис. 1) формируются высокие температурные градиенты. Скорость прогрева приповерхностного слоя ПМ до температуры пиролиза превосходит аналогичный показатель для рассмотренных выше режимов. При этом глубина зоны активного пиролиза настолько мала ($\Delta y_r < 10^{-2} \text{ мм}$), что при выполнении условий зажигания происходит быстрое сгорание смеси окислителя с продуктами термического разложения ПМ, а интенсивность вдува последних в газовую среду оказывается недостаточной для поддержания устойчивого процесса горения.

Анализ результатов численного исследования выполнен при $700 \text{ К} \leq T_p \leq 1500 \text{ К}$. На рис. 2 представлены профили температуры системы *частица – ПМ – газ* на оси симметрии ($x = 0$) в момент зажигания при трех значениях температуры локального источника T_p . Из рисунка видно, что при повышении начальной температуры стальной частицы возрастает скорость прогрева приповерхностного слоя ПМ. Однако из-за значительного уменьшения длительности индукционного периода (на 95 %) при изменении T_p от 700 до 1500 К глубина зоны термического разложения ПММА уменьшается. Следует отметить, что минимальное значение $y_r = 1,26 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$ в момент зажигания ПММА при $T_p = 1500 \text{ К}$ сопоставимо с глубиной зоны активного пиролиза

Таблица 2. Время задержки зажигания, глубины прогрева и пиролиза в момент зажигания ПММА при изменении начальной температуры источника энергии

Параметр	Значение параметра при T_p , К								
	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
t_d , с	0,0504	0,0167	0,0098	0,0075	0,0059	0,0049	0,0041	0,0032	0,0024
$y_w \cdot 10^2$, мм	30,27	17,89	14,45	12,48	11,17	10,35	9,76	9,35	7,74
$y_r \cdot 10^2$, мм	2,18	1,68	1,54	1,46	1,40	1,37	1,35	1,33	1,26

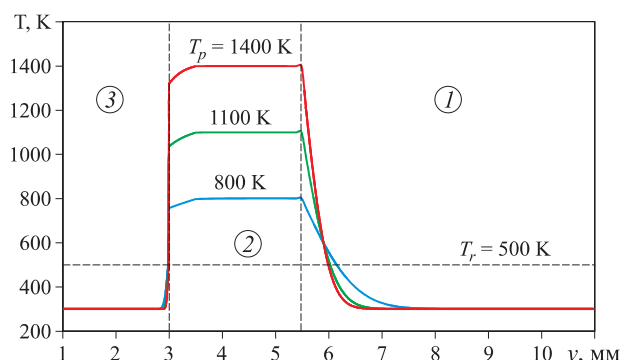


Рис. 2. Профили температуры системы *частица – ПМ – газ* при $x = 0$ в момент зажигания $t_d = 0,0167$ с, $T_p = 800$ К; $t_d = 0,0059$ с, $T_p = 1100$ К; $t_d = 0,0032$ с, $T_p = 1400$ К: 1 — смесь газообразных продуктов пиролиза с окислителем; 2 — стальная частица; 3 — ПММА

$\Delta y_r = (1 \div 2) \cdot 10^{-2}$ мм [15] при стационарном горении полимера. Это позволяет сделать вывод о возможности устойчивого зажигания ПММА в результате его локального нагрева источником ограниченной энергоемкости (см. рис. 1). Достаточно длительная стадия инертного прогрева приповерхностного слоя ПМ (до 85 % от t_d) создает благоприятные условия (за счет формирования зон прогрева и пиролиза), необходимые для последующего распространения пламени по поверхности вещества.

В результате анализа изотерм (рис. 3) в момент зажигания ПММА “горячей” частицей установлено, что при варьировании теплосодержания (за счет T_p) источника изменяется положение локализации (на Δy_d относительно границы $y = y_1$) реакции окисления в газовой среде. При относительно невысо-

ких начальных температурах ($T_p < 1000$ К) зона воспламенения смещается от границы ПММА — газ в направлении движения продуктов термической деструкции ПМ более чем на 0,5 мм (см. рис. 3,а). Это изменение характеризуется увеличением длительности стадии прогрева горючей смеси до момента зажигания. При этом возрастает роль теплопереноса за счет механизмов конвективного теплоотвода в общем комплексе физико-химических процессов. Повышение значения T_p ведет к смещению зоны воспламенения в направлении границы $y = y_1$ (см. рис. 3,б). При дальнейшем увеличении температуры ($T_p > 1200$ К) зажигание смеси горючего и окислителя происходит существенно ближе к границе ПММА — газ $\Delta y_d < 0,25$ мм (см. рис. 3,в).

Процессы прогрева ПМ, а также формирования зон активного пиролиза и экзотермического реагирования в приповерхностном слое ПМ и окружающей газовой среде соответственно взаимосвязаны. При устойчивом зажигании полимера зона локализации реакции окисления удалена от границы ПМ — газ в направлении оси y не менее чем на 0,2 мм. При неустойчивом зажигании воспламенение продуктов термического разложения происходит в непосредственной близости от поверхности вещества ($\Delta y_d < 0,1$ мм).

Заключение

В результате численного анализа процесса взаимодействия типичного термопластичного полимерного материала с локальным источником энергии при варьировании температуры последнего выделены три характерных режима: газификация с по-

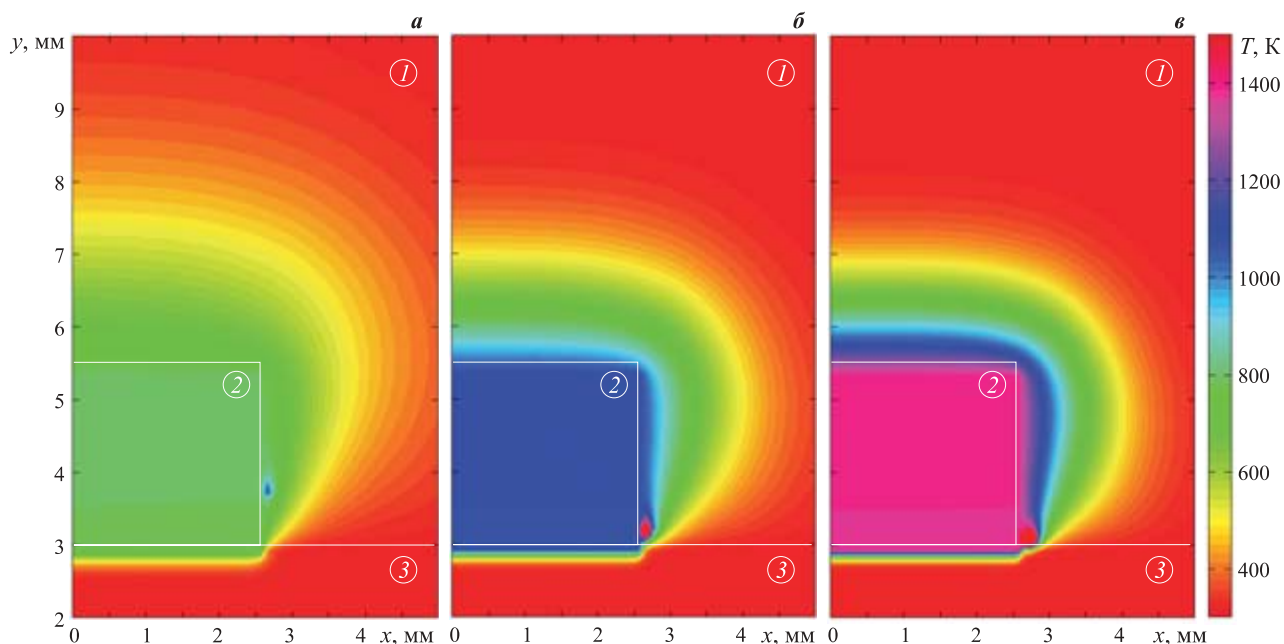


Рис. 3. Изотермы T системы *частица – ПМ – газ* в момент зажигания $t_d = 0,0167$ с, $T_p = 800$ К (а), $t_d = 0,0059$ с, $T_p = 1100$ К (б), $t_d = 0,0032$ с, $T_p = 1400$ К (в): 1 — смесь газообразных продуктов пиролиза с окислителем; 2 — стальная частица; 3 — ПММА

следующим затуханием ($T_p < 700$ K); устойчивое зажигание ($700 \text{ K} \leq T_p \leq 1500 \text{ K}$); неустойчивое зажигание — вспышка ($T_p > 1500 \text{ K}$). При реализации зажигания в системе *частица – ПМ – газ* в первом приближении можно сделать вывод о возможном устойчивом зажигании ПМ источником ограниченной энергоемкости при выполнении следующего

условия: глубина термического разложения полимера Δu_r в момент воспламенения соответствует глубине зоны активного пиролиза $(1 \div 2) \cdot 10^{-2}$ мм при его стационарном горении [15].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 12-08-33002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акинин Н. И., Булхов Н. Н., Герши В. А. Статистический анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 10. — С. 53–55.
2. Баратов А. Н. Горение – Пожар – Взрыв – Безопасность. — М. : ФГУП ВНИИПО МЧС России, 2003. — 364 с.
3. Собурь С. В. Пожарная безопасность нефтегазохимических предприятий : справочник. — М. : ПожКнига, 2004. — 431 с.
4. Романенков И. Г., Левитес Ф. А. Огнезащита строительных конструкций. — М. : Стройиздат, 1991. — 320 с.
5. Куликов В. П. Технология сварки плавлением. — Минск : Дизайн ПРО, 2000. — 256 с.
6. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Моделирование воспламенения жидкого вещества горячей частицей // Химическая физика. — 2009. — Т. 28, № 5. — С. 91–98.
7. 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.
8. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное исследование процессов тепломассопереноса при зажигании гелеобразного топлива источником ограниченной энергоемкости // Инженерно-физический журнал. — 2013. — Т. 86, № 3. — С. 652–660.
9. Глушков Д. О., Жданова А. О., Стрижак П. А. Математическое моделирование зажигания гелеобразного конденсированного вещества одиночными разогретыми металлическими и неметаллическими частицами // Бутлеровские сообщения. — 2013. — Т. 34, № 5. — С. 22–33.
10. Глушков Д. О., Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Численное моделирование твердофазного зажигания металлизированного конденсированного вещества нагретой до высоких температур частицей // Химическая физика. — 2011. — Т. 30, № 12. — С. 35–41.
11. Glushkov D. O., Strizhak P. A. Heat and mass transfer at ignition of solid condensed substance with relatively low calorific power by a local energy source // Journal of Engineering Thermophysics. — 2012. — Vol. 21, No. 1. — P. 69–77.
12. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. Экспериментальное исследование влияния формы нагретой частицы на характеристики зажигания жидких топлив // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 2. — С. 11–14.
13. Кузнецов Г. В., Захаревич А. В., Максимов В. И. О влиянии структуры “горячих” частиц на условия зажигания жидких топлив // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 11. — С. 9–11.
14. Захаревич А. В., Кузнецов В. Т., Кузнецов Г. В., Максимов В. И. Зажигание модельных смесевых топливных композиций одиночной, нагретой до высоких температур частицей // Физика горения и взрыва. — 2008. — Т. 44, № 5. — С. 54–57.
15. Асеева Р. М., Зайков Г. Е. Горение полимерных материалов. — М. : Наука, 1981. — 280 с.
16. Щеглов П. П., Иванников В. Л. Пожароопасность полимерных материалов. — М. : Стройиздат, 1992. — 110 с.
17. Халтуринский Н. А., Попова Т. В., Берлин А. А. Горение полимеров и механизм действия антипиренов // Успехи химии. — 1984. — Т. 53, № 2. — С. 326–346.
18. Vilyunov V. N., Zarko V. E. Ignition of solids. — Amsterdam : Elsevier Science Publishers, 1989. — 442 p.
19. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М. : Наука, 1987. — 502 с.
20. Роуч П. Дж. Вычислительная гидродинамика. — М. : Мир, 1980. — 616 с.
21. Пасконов В. М., Полежаев В. И., Чудов Л. А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. — М. : Наука, 1984. — 288 с.

22. Кузнецов Г. В., Шеремет М. А. Сопряженный теплоперенос в замкнутой области с локально сосредоточенным источником тепловыделения // Инженерно-физический журнал. — 2006. — Т. 79, № 1. — С. 56–63.
23. Кузнецов Г. В., Шеремет М. А. Об одном подходе к математическому моделированию тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры и электронной техники // Микроэлектроника. — 2008. — Т. 37, № 2. — С. 150–158.
24. Bhattacharjee S., King M. D., Paolini C. Structure of downward spreading flames: a comparison of numerical simulation, experimental results and a simplified parabolic theory // Combustion Theory and Modelling. — 2004. — Vol. 8, No. 1. — P. 23–39.
25. Wu K. K., Fan W. F., Chen C. H., Liou T. M., Pan I. J. Downward flame spread over a thick PMMA slab in an opposed flow environment: experiment and modeling // Combustion and Flame. — 2003. — Vol. 132, No. 4. — P. 697–707.
26. Ayani M. B., Esfahani J. A., Sousa A. C. M. The effect of surface regression on the downward flame spread over a solid fuel in a quiescent ambient // Thermal Science. — 2007. — Vol. 11. — P. 67–86.
27. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов : справочное руководство. — М. : Гос. изд-во физ.-мат. литер., 1959. — 356 с.
28. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М. : ООО “Старс”, 2006. — 720 с.
29. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. — М. : Энергия, 1975. — Т. 1. — 743 с.

Материал поступил в редакцию 1 октября 2013 г.

English

THEORETICAL ESTIMATION OF STABILITY IGNITION OF TYPICAL POLYMERIC MATERIAL BY LOCAL ENERGY SOURCE

GLUSHKOV D. O., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Automation Thermal and Power Processes Department, Institute of Power Engineering of National Research Tomsk Polytechnic University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: dmitriyog@tpu.ru)

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

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

ABSTRACT

Results of theoretical researches on estimation of stability ignition of typical polymeric material (PMMA) at interaction with the single steel particle heated to high temperatures in the form of a parallelepiped are presented in work.

The mathematical model of process is presented by system of the nonlinear, non-stationary differential equations in private derivatives. It considers conductive heat transfer and thermal destruction in the condensed phase, diffusive and convective heat and mass transfer, besides oxidation of gaseous products of pyrolysis polymeric material in air.

Depth of thermal decomposition of the near-surface layer, corresponding to depth of active PM pyrolysis zone $(1 \div 2) \cdot 10^{-2}$ mm at its stationary burning, was chosen as the parameter characterizing steady ignition of PMMA.

As a result of the analysis of integrated characteristics of process at variation of initial temperature of energy source three modes are allocated: gasification without ignition with the subsequent termination of pyrolysis ($T_p < 700$ K), steady ignition ($700 \text{ K} \leq T_p \leq 1500 \text{ K}$), unstable ignition — flash ($T_p > 1500 \text{ K}$).

Keywords: thermoplastic polymer; local energy source; ignition.

REFERENCES

1. Akinin N. I., Bulkhov N. N., Gerish V. A. Statisticheskii analiz prichin avari i travmatizma na opasnykh proizvodstvennykh ob'yektakh [Statistical analysis of the reasons of accidents and traumatism on dangerous production objects]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 10, pp. 53–55.
2. Baratov A. N. *Goreniye – Pozhar – Vzryv – Bezopasnost* [Burning – Fire – Explosion – Safety]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2003. 364 p.
3. Sobur S. V. *Pozharnaya bezopasnost neftegazokhimicheskikh predpriyatiy* [Fire safety of petrochemical enterprises]. Moscow, PozhKniga Publ., 2004. 431 p.
4. Romanenkov I. G., Levites F. A. *Ognezashchita stroitelnykh konstruktsiy* [Fire protection of construction designs]. Moscow, Stroyizdat, 1991. 320 p.
5. Kulikov V. P. *Tekhnologiya svarki plavleniyem* [Technology of welding by melting]. Minsk, Design PRO Publ., 2000. 256 p.
6. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Modelirovaniye vosplamneniya zhidkogo veshchestva “goryachey” chastitsey [Simulation of the ignition of a liquid fuel with a hot particle]. *Khimicheskaya fizika — Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2009, vol. 3, no. 3, pp. 441–447.
7. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye resheniye zadachi vosplamneniya zhidkogo požaropasnoy veshchestva odinochnoy “goryachey” chastitsey [Numerical solution of the problem of ignition of a combustible liquid by a single hot particle]. *Fizika goreniya i vzryva — Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2009, vol. 45, no. 5, pp. 543–550.
8. Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye issledovaniye processov teplomassoperenosa pri zazhiganiy geobraznogo topliva istochnikom ogranichennoy energoemkosti [Numerical research of heat and mass transfer processes at ignition of gel fuel by a source of limited power consumption]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2013, vol. 86, no. 3, pp. 652–660.
9. Glushkov D. O., Zhdanova A. O., Strizhak P. A. Matematicheskoye modelirovaniye zazhiganiya geobraznogo kondensirovannogo veshchestva odinochnymi razogretymi metallicheskimi i nemetallicheskimi chastitsami [Mathematical modeling of ignition of the gel condensed substance by the single warmed metal and nonmetallic particles]. *Butlerovskie soobshcheniya — Butlerov Communications*, 2013, vol. 34, no. 5, pp. 22–33.
10. Glushkov D. O., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Chislennoye modelirovaniye tverdogaznogo zazhiganiya metallizirovannogo kondensirovannogo veshchestva nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Numerical simulation of solid-phase ignition of metallized condensed matter by a particle heated to a high temperature]. *Khimicheskaya fizika — Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2011, vol. 5, no. 6, pp. 1000–1006.
11. Glushkov D. O., Strizhak P. A. Heat and mass transfer at ignition of solid condensed substance with relatively low calorific power by a local energy source. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2012, vol. 21, no. 1, pp. 69–77.
12. Kuznetsov G. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I. Eksperimentalnoye issledovaniye vliyaniya formy nagretoy chastitsy na kharakteristiki zazhiganiya zhidkikh topliv [Experimental research of heated particle form influence on characteristics of liquid fuels ignition]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 2, pp. 11–14.
13. Kuznetsov G. V., Zakharevich A. V., Maksimov V. I. O vliyaniy struktury “goryachikh” chastits na usloviya zazhiganiya zhidkikh topliv [About influence of structure of “hot” particles on conditions of liquid fuels ignition]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 11, pp. 9–11.
14. Zakharevich A. V., Kuznetsov V. T., Kuznetsov G. V., Maksimov V. I. Zazhiganiye modelnykh smesevykh toplivnykh kompozitsiy odinochnoy nagretoy do vysokikh temperatur chastitsey [Ignition of model composite propellants by a single particle heated to high temperatures]. *Fizika goreniya i vzryva — Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2008, vol. 44, no. 5, pp. 543–546.
15. Aseeva R. M., Zaykov G. E. *Goreniye polimernykh materialov* [Burning of polymeric materials]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 280 p.
16. Shcheglov P. P., Ivannikov V. L. *Pozharoopasnost polimernykh materialov* [Fire danger of polymeric materials]. Moscow, Stroyizdat, 1992. 110 p.
17. Khalturinskiy N. A., Popova T. V., Berlin A. A. *Goreniye polimerov i mekhanizm deystviya antipirenov* [Burning of polymers and mechanism of fire-retarding agents effect]. *Uspekhi khimii — Russian Chemical Reviews*, 1984, vol. 53, no. 2, pp. 326–346.
18. Vilyunov V. N., Zarko V. E. *Ignition of solids*. Amsterdam, Elsevier Science Publishers, 1989. 442 p.

19. Frank-Kamenetsky D. A. *Diffuziya i teploperedacha v khimicheskoy kinetike* [Diffusion and heat transfer in chemical kinetics]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 502 p.
20. Rouch P. J. *Vychislitel'naya gidrodinamika* [Computational hydrodynamics]. Moscow, Mir Publ., 1980. 616 p.
21. Paskonov V. M., Polezhaev V. I., Chudov L. A. *Chislennoye modelirovaniye protsessov teplo- i masso-obmena* [Numerical modeling of processes heat and mass exchange]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 288 p.
22. Kuznetsov G. V., Sheremet M. A. Sopryazhennyy teploperenos v zamknutoy oblasti s lokalno sosredotochennym istochnikom teplovydeleniya [The interfaced heat transfer in the closed area with locally concentrated source of a thermal emission]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal — Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2006, vol. 79, no. 1, pp. 56–63.
23. Kuznetsov G. V., Sheremet M. A. Ob odnom podkhode k matematicheskomu modelirovaniyu teplovykh rezhimov radioelektronnoy apparatury i elektronnoy tekhniki [New approach to the mathematical modeling of thermal regimes for electronic equipment]. *Mikroelektronika — Russian Microelectronics*, 2008, vol. 37, no. 2, pp. 131–138.
24. Bhattacharjee S., King M. D., Paolini C. Structure of downward spreading flames: a comparison of numerical simulation, experimental results and a simplified parabolic theory. *Combustion Theory and Modelling*, 2004, vol. 8, no. 1, pp. 23–39.
25. Wu K. K., Fan W. F., Chen C. H., Liou T. M., Pan I. J. Downward flame spread over a thick PMMA slab in an opposed flow environment: experiment and modeling. *Combustion and Flame*, 2003, vol. 132, no. 4, pp. 697–707.
26. Ayani M. B., Esfahani J. A., Sousa A. C. M. The effect of surface regression on the downward flame spread over a solid fuel in a quiescent ambient. *Thermal Science*, 2007, vol. 11, pp. 67–86.
27. Chirkin V. S. *Teplofizicheskiye svoystva materialov. Spravochnoye rukovodstvo* [Thermophysical properties of materials. Reference guide]. Moscow, State publishing house of physical and mathematical literature, 1959. 356 p.
28. Vargaftik N. B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* [Reference for thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, Stars Publ., 2006. 720 p.
29. Yurenev V. N., Lebedev P. D. *Teplotekhnicheskiy spravochnik* [Thermophysical reference]. Moscow, Energiya Publ., 1975, vol. 1. 743 p.



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

Е. Н. ШУРКОВА, инженер 2-й категории, аспирант, сотрудник лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность" ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ)" (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

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

А. Н. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, начальник Испытательного центра ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ)" (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

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

УДК 614.841.41:629.7.042.2

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ПКМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Проведены сравнительные исследования пожарной безопасности нескольких видов стекло- и углепластиков, предназначенных для изготовления элементов внешнего контура изделий авиационной техники. Рассчитаны индексы пожарной опасности материалов, по которым проведено сопоставление различных марок полимерных композиционных материалов. Показано существенное влияние полимерной матрицы и химической природы наполнителя на характеристики пожарной опасности композиционных материалов.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы; пожарная безопасность; внешний контур; авиационная техника.

Введение

По мере развития материаловедения, авиационной промышленности, создания новых материалов изменялся и спектр материалов, применяемых для производства летательных аппаратов. В настоящее время для изготовления авиационной техники преимущественно используются сплавы металлов, массовая доля которых в конструкции изделий превышает 90 %. Создание новых высокопрочных полимерных композиционных материалов (ПКМ) дает возможность заменить алюминиевые сплавы на углепластики и изготавливать многие элементы конструкций авиационной техники, в частности фюзеляж и крыло, по новым технологиям. Замена металлов на углепластики позволит снизить массу летательного аппарата на 40 %, что обеспечит уменьшение расхода топлива и повышение экономичности его эксплуатации на 20 % [1].

В то же время применение ПКМ вместо металлов может существенно повлиять на пожаробезопасность конструкции летательных аппаратов. Алюминиевые сплавы в условиях обычных пожаров не воспламеняются и не распространяют пламя по по-

верхности, но под действием тепла от горящего разлившегося топлива довольно быстро расплавляются и теряют несущую способность, что приводит к разрушению фюзеляжа и проникновению пламени во внутренние отсеки. Использование ПКМ вместо алюминиевых листов может предотвратить сквозное прогорание внешней обшивки авиационной техники, однако при этом может существенно ухудшить другие характеристики пожаробезопасности. Так, ПКМ под воздействием пламени или теплового потока могут воспламеняться, распространять пламя по поверхности, выделять при горении дополнительное тепло, дым и токсичные продукты, что создаст проблемы при эвакуации пассажиров из совершившего аварийную посадку самолета, осложнит тушение пожара и снизит выживаемость людей вследствие отравления их токсичными продуктами горения [2].

В настоящее время требований по пожарной безопасности к материалам для изготовления внешнего контура не предъявляется. Это объясняется тем, что для этих целей преимущественно используются негорючие материалы (алюминиевые сплавы).

При переходе на ПКМ для фюзеляжа необходимо доказать, что, по крайней мере, не происходит снижения пожаробезопасности изделий гражданской авиационной техники. Правительством США перед Федеральным авиационным агентством (FAA) поставлена задача — к 2015 году создать пожаробезопасный огнестойкий фюзеляж для гражданских пассажирских самолетов транспортной категории [3]. В связи с этим в последние годы в Техническом центре FAA пристальное внимание уделяется работам по сопоставлению характеристик пожарной опасности связующих и ПКМ, перспективных для изготовления внешнего контура авиационной техники, а также по выбору методов испытаний и критериев оценки [4–8]. Аналогичные исследования проводятся и в России [9–12].

Материалы и методы испытаний

В данной работе проведено изучение характеристик пожарной безопасности стекло- и углепластиков, перспективных для широкого применения во внешнем контуре в изделиях различных отраслей промышленности.

В настоящее время для изготовления отдельных элементов конструкций, в том числе внешнего контура, в разнообразных авиационных изделиях (вертолеты, легкие и транспортные гражданские самолеты, военная техника) уже используются стекло- и углепластики на основе клеевых препрегов (КМКС и КМКУ). Эти материалы обладают положительным комплексом свойств, связанных с удобством их использования при изготовлении конструкций и обслуживании при эксплуатации, антикоррозионной устойчивостью. Кроме вышеперечисленных клеевых материалов, в ВИАМ для изготовления конструктивных ПКМ применительно к внешнему контуру разработаны новые полимерные связующие — термостойкое и высокоэластичное.

Характеристики образцов ПКМ, используемых для испытаний на пожаробезопасность, представ-

лены в табл. 1. Для сравнения были определены характеристики пожарной опасности листа алюминиевого сплава Д16 ан. окс. хр. толщиной 0,6 мм, т. е. материала примерно с такими же массовыми характеристиками, какие имели предназначенные для его замены образцы конструктивных ПКМ.

Ввиду отсутствия нормативной документации по методам оценки пожарной безопасности полимерных материалов для внешнего контура авиационной техники в соответствии с принципами, изложенными в [13, 14], при проведении исследований были использованы методики, применяемые для квалификационных испытаний материалов интерьера пассажирских салонов самолетов (приложение F Авиационных правил АП-25 [15]):

- метод оценки горючести (часть I, ОСТ 1 90094–79 [16]);
- метод измерения тепловыделения при горении (часть IV, СТП 1-595-20-341–2000);
- метод определения дымообразующей способности (часть V, ГОСТ 24632–81 [17]).

Кроме перечисленных методов, были использованы маломасштабный метод оценки устойчивости к сквозному прогару при воздействии пламени и метод оценки токсичности продуктов горения по газовому анализу атмосферы в дымовой камере при испытаниях на дымообразующую способность. Процедура оценки токсичности продуктов горения аналогична методикам, используемым в самолетостроительных корпорациях *Airbus*, *Boeing*, *Bombardier* [18–20].

При испытаниях на горючесть образцы материалов закрепляли в вертикальном положении. Поджигание образца снизу осуществляли посредством лабораторной газовой горелки Бунзена в течение заданного времени экспозиции. После отвода пламени горелки фиксировали продолжительность остаточного (самостоятельного) горения и длину прогорания. Так как продолжительность остаточного горения неоднозначно изменяется в зависимо-

Таблица 1. Обобщенные сведения об образцах материалов

Характеристика	Образец материала					
	1	2	3	4	5	6
Толщина образца, мм	0,92	0,94	1,19	1,08	1,07	1,03
Поверхностная плотность образца, г/м ²	1701	1766	1757	1590	1613	1511
Связующее:						
тип (рабочая температура, °С)	Эпоксидное (до 125)	Эпоксидное (до 175)	Эпоксидное (до 125)	Эпоксидное (до 150)	Эпоксидное, высокоэластичное	Цианэфирное, высокотермостойкое
содержание, %	31,8	34,3	43,1	37,1	41,2	37,3
Тип наполнителя	Стеклоткань			Лента углеродная		

сти от времени экспозиции, испытания проводили при двух нормированных режимах продолжительности воздействия на образец пламени газовой горелки (12 и 60 с).

Измерение интенсивности тепловыделения при горении выполняли при помощи проточного калориметра типа OSU, марки HRR-3 производства *Atlas Electric Devices Company*, США (ASTM E906 Configuration A), работающего по термопарному методу, при плотности падающего теплового потока на образец 35 кВт/м² и вертикальном положении образца.

Испытания по определению дымообразующей способности проводили в дымовой камере марки SD#1 фирмы *Govmark*, США (ASTM E662, ГОСТ 24632–81) при двух режимах (пиролиз и пламенное горение) и плотности падающего теплового потока на образец 25 кВт/м². При испытаниях регистрировали удельную оптическую плотность дыма (количество дыма, выделяющегося с единицы площади поверхности материала в замкнутый объем камеры) через 2 мин (D_2), 4 мин (D_4) и максимально достигаемую в процессе экспозиции ($D_{\max}$).

Для оценки токсичности продуктов горения в дымовой камере через 4 мин после начала испытаний измеряли концентрации следующих газов: кислорода (O_2), углекислого газа (CO_2), угарного газа (CO), цианистого водорода (HCN), оксидов азота (NO_x), хлористого водорода (HCl), фтористого водорода (HF), смеси сероводород + сернистый газ ($H_2S + SO_2$). Измерения проводили с использованием газоанализаторных трубок: производства *Dräger* — на CO (10...3000 ppm), HCN (0,5...50 ppm), NO_x (2...100 ppm), HCl (1...10 ppm), HF (0,5...90 ppm), $H_2S + SO_2$ (1...25 ppm); СЕРВЭК — на O_2 (0...25 % об.) и ООО “Импульс” — на CO_2 (0...2,0 % об.).

Результаты испытаний

В каждом эксперименте было испытано по три параллельных образца. Некоторые результаты этих испытаний приведены в работах [21, 22]. Полученные усредненные экспериментальные данные по шести типам полимерных композиционных материалов и образцу сравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2. Данные по составу и характеристикам пожаробезопасности образцов ПКМ для внешнего контура

Характеристика пожарной опасности	Показатель	Образец материала												7 (образец сравнения)
		1		2		3		4		5		6		
Горючесть	Продолжительность экспозиции образцов пламенем горелки, с	12	60	12	60	12	60	12	60	12	60	12	60	60
	Продолжительность остаточного горения, с	—	2	14	1	1	2	0	0	9	2	8	3	0
	Длина прогорания, мм	—	167	58	122	5	94	10	78	21	56	9	44	0
Прогораемость	Наличие сквозного прогара образца	Нет		Нет		Нет		Нет		Нет		Нет		Прогорает через 40 с
Тепловыделение	Максимальная интенсивность (пик), кВт/м²	136		83		149		128		79		72		0
	Общее за 2 мин, кВт·мин/м²	108		74		139		96		87		80		0
Дымообразующая способность (горение/пиролиз)	D ₂	75/82		114/54		79/18		165/8		51/8		90/12		0
	D ₄	126/153		203/124		143/116		246/102		139/31		121/41		0
	D _{max}	147/245		231/212		160/232		251/231		172/134		134/158		0
Токсичность продуктов горения (максимальные концентрации газов в дымовой камере при проведении испытаний на дымообразование) (горение/пиролиз)	O ₂ , %	16,5/20		18/20		15/20		19/20		16/19		17/20		0
	CO ₂ , %	0,3/0,3		0,3/0,3		0,5/0,05		0,5/0,3		0,5/0,05		0,45/0,3		0
	CO, ppm	200/100		200/100		300/50		300/50		200/100		100/100		0
	HCl, ppm	0/1		0/0		0/0		0/0		0/0		0/0		0
	HF, ppm	0/0		0/0		0/0		0/0		0/0		0/0		0
	HBr, ppm	0/0		0/0		0/0		0/0		0/0		0/0		0
	HCN, ppm	5/5		0/1		1/2		2/2		1/1		3/10		0
	NO _x (NO + NO ₂), ppm	50/2		40/5		60/10		40/10		40/1		60/2		0
SO ₂ + H ₂ S, ppm	3/1		2/1		5/2		2/0		30/10		10/2		0	

Примечание. Данные для образца сравнения по дымообразующей способности и токсичности продуктов горения приведены только для режима горения.

Все образцы композиционных материалов при испытаниях на горючесть после выноса из пламени затухали, что согласно используемой в авиационной отрасли классификации позволяет отнести их к трудносгорающим (образец 3) или самозатухающим (все остальные образцы). Наилучшими из исследованных материалов по показателям горючесть являются углепластики на основе клеевых препрегов (образцы 3 и 4).

По дымообразующей способности наилучшие результаты показали углепластики (образцы 3, 5 и 6). По тепловыделению наилучшие характеристики имеет стеклопластик из наиболее термостойкого клеевого препрега (образец 2) и углепластики (образцы 5 и 6).

Все испытанные образцы стекло- и углепластиков не имели сквозного прогара от воздействия пламени с температурой 1000 °С в течение всего времени испытания (15 мин). Таким образом, все образцы ПКМ обладают высокой огнестойкостью и не допускают проникновения открытого пламени сквозь образец. В качестве образца сравнения был взят лист алюминиевого сплава марки Д-16 ан. окс. хр. толщиной 0,6 мм. Под воздействием пламени он проплавлялся в среднем через 40 с с образованием сквозного отверстия, в результате чего происходило проникновение пламени сквозь образец.

Для всех испытываемых материалов регистрируемые концентрации образующихся токсичных газов были невелики и существенно ниже допустимых значений.

Для обеспечения возможности сопоставления характеристик различных материалов согласно процедуре, описанной в [23], для каждого типа образца были рассчитаны индексы опасности по каждому виду испытаний и общий сводный (сравнительный) индекс. Расчет индекса токсичности проводился согласно процедуре и по формуле, приведенным в [21].

В качестве предельно допустимых были взяты значения показателей, принятые для материалов интерьера авиационной техники [15], за исключением тепловыделения. Поскольку интенсивность выделения тепла при горении материалов, расположенных во внешнем контуре, не является столь же критичной, как при горении материалов, расположенных в пассажирском салоне, в качестве предельно допустимых были выбраны пороговые значения максимальной интенсивности выделения тепла — 200 кВт/м² и общего количества выделившегося за первые 2 мин тепла — 200 кВт·мин/м².

За минимальное предельно допустимое значение показателя прогораемости была принята огнестойкость материала, определяемая продолжительностью сохранения свойств материала (отсутствие сквозного прогорания под воздействием пламени с тем-



Рис. 1. Индексы пожарной опасности для испытываемых образцов ПКМ и образца сравнения

пературой (1100±50) °С), равная 5 мин. Индекс прогораемости рассчитывался как отношение продолжительности времени до прогорания образца к этому минимально допустимому значению.

Сводный индекс пожарной опасности IRI рассчитывался по формуле геометрической суммы:

$$IRI = \sqrt{I_{гор}^2 + I_{дым}^2 + I_{тепл}^2 + I_{токс}^2 + I_{прог}^2},$$

где $I_{гор}$, $I_{дым}$, $I_{тепл}$, $I_{токс}$ и $I_{прог}$ — индивидуальные индексы пожарной опасности соответственно по горючести, дымообразующей способности, тепловыделению, токсичности и прогораемости.

На рис. 1 приведены гистограммы индивидуальных по видам испытаний и сводных (сравнительных) индексов пожарной опасности для испытываемых материалов. Ввиду быстрого проплавления алюминиевого сплава образец сравнения лист Д-16 имеет высокий индекс прогара — в 4 раза выше, чем у образцов ПКМ; даже при остальных нулевых индексах сводный индекс пожарной опасности листа Д-16 оказывается в 4 раза выше, чем у образцов ПКМ.

Характеристики пожарной опасности полимерных композиционных материалов зависят не только от вида полимерной матрицы, но и от ее содержания в образце. При сравнительно небольшом изменении количества связующего в ряде случаев характеристики изменяются по линейному закону [24], следовательно, можно пересчитать показатели пожарной опасности для различных материалов на некоторую единую массу. На рис. 2 представлены гистограммы пересчитанных индексов пожарной опасности, приведенных к одинаковому нанесу связующего, равному 600 г/м² (при расчете предполагалось, что наполнитель не является топливом, т. е. не участвует в экзотермических реакциях окисления в процессе горения образца).

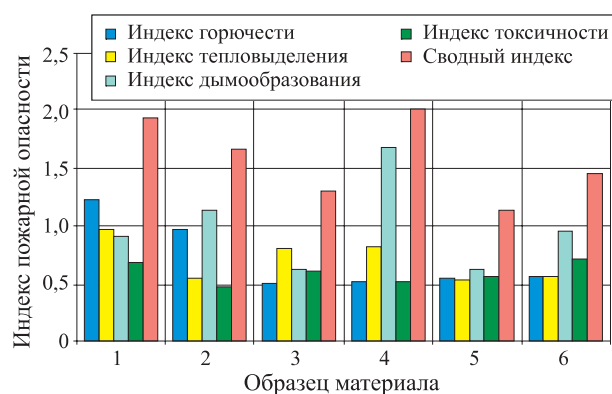


Рис. 2. Индексы пожарной опасности для образцов ПКМ, пересчитанные исходя из одинакового наноса связующего (600 г/м^2)

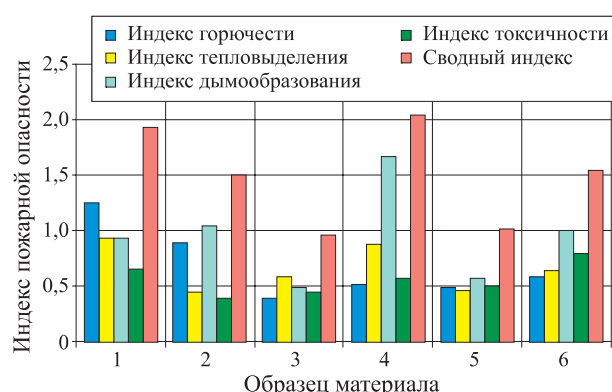


Рис. 3. Индексы пожарной опасности для образцов ПКМ, пересчитанные исходя из одинаковой толщины образца (1,0 мм) и заданного содержания связующего (30 % для стеклопластиков и 40 % для углепластиков)

Сравнение характеристик композиционных материалов, имеющих различный наполнитель, правильнее проводить при заданном стандартном содержании полимерного связующего и одинаковой толщине (но не массе!)* образца. Обычно стеклопластики на конструкционной стеклоткани Т-10 содержат около 30 % полимерной матрицы, а углепластики — около 40 %. Приведенные индексы пожарной опасности ПКМ с таким содержанием связующего и толщиной образца, равной 1,0 мм, представлены на рис. 3.

Из сопоставления исходных данных угле- и стеклопластиков на одном и том же связующем (образцы 1 и 3) видно, что стеклопластик обладает не-

* Так как образцы углепластиков по сравнению со стеклопластиковыми имеют меньшую плотность, а значит, и меньшую массу при одной и той же толщине.

сколько меньшим тепловыделением по сравнению с углепластиком, что может быть объяснено меньшим содержанием связующего в образце. При пересчете данных на одинаковое количество нанесенного связующего (в г/м^2) соотношение между индексами тепловыделения для стеклопластика и углепластика не просто выравнивается, а меняется на противоположное (см. рис. 2), и этот перепад еще больше увеличивается при пересчете на одинаковую толщину (см. рис. 3). Аналогичная картина наблюдается и для других видов испытаний. Таким образом, углепластик по сравнению со стеклопластиком по проведенным видам испытаний имеет более низкую пожарную опасность, что может быть обусловлено существенно более высокой теплопроводностью углеволокна по сравнению со стекловолокном и, соответственно, изменением условий прогрева и теплообмена при термодеструкции, а также увеличенным выходом кокса при горении.

Наилучшими характеристиками среди исследованных материалов по комплексу показателей пожарной опасности обладает углепластик на эпоксидном высокоэластичном связующем (образец 5) и углепластик из клевого препрега с рабочей температурой до 125°C (образец 3).

Выводы

С использованием методов оценки пожарной опасности определены характеристики шести типов полимерных композиционных материалов на основе различных полимерных матриц, имеющих в качестве наполнителя стеклоткань и углеволокно. В качестве образца сравнения использован типовой алюминиевый сплав — Д16 ан. окс. хр.

Показано, что образцы ПКМ в отличие от металлического листа имели остаточное горение и/или длину прогорания при испытаниях на горючесть, выделяли дым и тепло. В то же время образцы стекло- и углепластиков при испытаниях на прогораемость выдерживали воздействие пламени и не допускали прохождения пламени сквозь образец, тогда как дюралюминиевый лист быстро проплавлялся и не препятствовал проникновению пламени.

По результатам испытаний нескольких типов материалов установлено, что композиты на основе угольного наполнителя имеют несколько лучшие характеристики с точки зрения пожаробезопасности. Повышение термостойкости связующего обеспечивает снижение пожарной опасности ПКМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Decadal Survey of Civil Aeronautics: Foundation for the Future // Steering Committee for the Decadal Survey of Civil Aeronautics, National Research Council, 2006. — 212 p.
2. Когда горят композиты // Проблемы безопасности полетов. — 2010. — № 4. — С. 49–51.

3. *Sarkos G.* Evolution of FAA Fire Safety R&D Over the Years // 5th Triennial International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference, October 29 – November 1, 2007. — Atlantic City, New Jersey, 2007.
4. Flammability Properties of Aircraft Carbon-Fiber Structural Composite // DOT/FAA/AR-07/57. — 2007. — 43 p.
5. Full-Scale Test Evaluation of Aircraft Fuel Fire Burnthrough Resistance Improvements // DOT/FAA/AR-98/52. — 1999. — 41 p.
6. Development of a Laboratory-Scale Test for Evaluating the Decomposition Products Generated Inside an Intact Fuselage During a Simulated Postcrash Fuel Fire // DOT/FAA/AR-TN07/15. — 2008. — 48 p.
7. Flammability of Polymer Composites // DOT/FAA/AR-08/18. — 2008. — 22 p.
8. *Marker T.* Update Handbook Chapters // International Aircraft Materials Fire Test Working Group, Cologne, Germany, June 23, 2010.
9. *Барботько С. Л.* Пожаробезопасность авиационных материалов // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 5. — С. 431–439.
10. *Каблов Е. Н.* Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 5. — С. 7–17.
11. *Barbotko S. L.* Ways of providing fire safety of aviation materials // Russian Journal of General Chemistry. — 2011. — Vol. 81, No. 5. — P. 1068–1074.
12. *Орлов М. Р.* Стратегические направления развития Испытательного центра ФГУП “ВИАМ” // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 5. — С. 387–393.
13. *Барботько С. Л., Шуркова Е. Н.* О пожарной безопасности материалов, используемых для изготовления внешнего контура самолетов // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 10. — С. 19–24.
14. *Барботько С. Л., Кириллов В. Н., Шуркова Е. Н.* Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 3. — С. 56–63.
15. Авиационные правила. Глава 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории // Межгосударственный авиационный комитет. Изд. 3-е с попр. 1–6. — М. : ОАО Авиаиздат, 2009. — 274 с.
16. ОСТ 1-90094–79. Полимерные материалы. Метод определения горючести декоративно-отделочных и конструкционных полимерных материалов. — Введ. 01.07.80 г. URL : vniiki.ru/document/3578966.aspx (дата обращения 20.09.2013 г.).
17. ГОСТ 24632–81. Материалы полимерные. Метод определения дымообразования. — Введ. 01.01.82 г. — М. : Изд-во стандартов, 1981.
18. AITM 3.0005. Determination of Specific Gas Components of Smoke Generated by Component Parts or Sub-Assemblies of Aircraft Interior // Airbus Industrie Technical Material. URL : <http://www.delsenc.com/pdfs/a21alist10a.pdf> (дата обращения: 20.09.2013 г.).
19. BSS 7239. Test Method for Toxic Gas Generation by Materials on Combustion // Boeing Specification Support Standard. URL : http://www.delsenc.com/alpha_test_list.htm (дата обращения: 20.09.2013 г.).
20. SMP 800-C(2000). Toxic Gas Generation Test, 2000. URL : <http://www.ecoglo.ca/e20-series-strip> (дата обращения: 20.09.2013 г.).
21. *Барботько С. Л., Шуркова Е. Н., Вольный О. С., Скрылев Н. С.* Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов для внешнего контура авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. — 2013. — № 1. — С. 56–59.
22. *Шуркова Е. Н., Барботько С. Л., Дементьева Л. А., Сереженков А. А.* Сопоставление пожаробезопасности ПКМ на основе клеевых препрегов, используемых для изготовления конструкций внешнего контура авиационной техники // Клеи. Герметики. Технологии. — 2013. — № 8 — С. 13–17.
23. *Барботько С. Л., Голиков Н. И.* О комплексной оценке пожарной опасности материалов // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 6. — С. 16–24.
24. *Кузьмин С. В., Барботько С. Л.* Влияние некоторых факторов на тепловыделение стеклопластиков // Авиационные материалы и технологии. — 2002. — Вып. 3. — С. 51–54.

Материал поступил в редакцию 30 сентября 2013 г.

COMPARATIVE EVALUATION OF FIRE POLYMER COMPOSITE MATERIALS USED TO THE MANUFACTURE OF STRUCTURAL ELEMENTS FOR AIRCRAFTS

SHURKOVA E. N., Engineer of 2nd category, Postgraduate Student, Laboratory "Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety", Federal State Unitary Enterprise "All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (FSUE VIAM)" (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

VOLNYI O. S., Engineer of 2nd category, Laboratory "Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety", Federal State Unitary Enterprise "All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (FSUE VIAM)" (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

LUTSENKO A. N., Candidate of Technical Sciences, Head of Test Center of Federal State Unitary Enterprise "All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials (FSUE VIAM)" (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

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

ABSTRACT

One of ways of increase of profitability of air transportation is improvement of weight efficiency of air vehicles. This requirement can be reached at the expense of wider use of composite materials in designs of products. However the majorities of polymeric materials are capable to reactions of exothermic oxidation and can significantly change the characteristic of development of fire in case of polymer composite material (PCM) application instead of aluminum alloys. On the other hand, in case of influence of elevated temperatures aluminum alloys quickly lose bearing capacity and burn through, therefore replacement of metals by PCM can lead to increase of fire resistance of external circuit of flight vehicles and survival of people in case of flight incidents of the land fires connected with emergence from the spread fuel. In this work studying of characteristics of fire safety glass and carbon fiber-reinforced plastics, perspective for broad application on external contour in products of different industries is carried out.

Aviation engineering combines large amount of hydrocarbon fuel, high concentration of people and complexity in operational carrying out evacuation. Flight incidents often occur at adverse weather conditions and can be on considerable removal from places of basing of fire-fighting crews. In this regard to materials of aviation assignment increased requirements on fire safety are shown. Therefore assessment of fire safety of materials carried out according to methods being used in the aviation industry. On the basis of these results of tests indexes of fire danger, including taking into account reduction of samples to the identical weight, thickness or deposit of the binding have been calculated. The model specimen of comparison — leaf of aluminum alloy of the D-16 brand at tests did not allocate smoke and heat, did not extend flame on surface, however quickly melted and allowed through penetration of flame. It is shown that carbon fiber-reinforced plastics with the high heat-resistant bindings have the best characteristics of fire safety.

Keywords: polymeric composite material; fire safety; external contour; aviation techniques.

REFERENCES

1. *Decadal Survey of Civil Aeronautics: Foundation for the Future*. Steering Committee for the Decadal Survey of Civil Aeronautics, National Research Council, 2006. 212 p.
2. Kogda goryat kompozity [When composites burn]. *Problemy bezopasnosti polyetov — Aviation Safety Problems*, 2010, no. 4, pp. 49–51.
3. Sarkos G. Evolution of FAA Fire Safety R&D Over the Years. *5th Triennial International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference, October 29 – November 1, 2007*, Atlantic City, New Jersey, 2007.

4. Flammability Properties of Aircraft Carbon-Fiber Structural Composite. *DOT/FAA/AR-07/57*. 43 p.
5. Full-Scale Test Evaluation of Aircraft Fuel Fire Burnthrough Resistance Improvements. *DOT/FAA/AR-98/52*. 41 p.
6. Development of a Laboratory-Scale Test for Evaluating the Decomposition Products Generated Inside an Intact Fuselage During a Simulated Postcrash Fuel Fire. *DOT/FAA/AR-TN07/15*. 48 p.
7. Flammability of Polymer Composites. *DOT/FAA/AR-08/18*. 22 p.
8. Marker T. *Update Handbook Chapters*. International Aircraft Materials Fire Test Working Group, Cologne, Germany, June 23, 2010.
9. Barbotko S. L. Pozharobezopasnost aviatsionnykh materialov [Fire safety of aviation materials]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 5, pp. 431–439.
10. Kablov E. N. Strategicheskiye napravleniya razvitiya materialov i tekhnologiy ikh pererabotki na period do 2030 goda [Strategic of the direction of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 5, pp. 7–17.
11. Barbotko S. L. Ways of providing fire safety of aviation materials. *Russian Journal of General Chemistry*, 2011, vol. 81, no. 5, pp. 1068–1074.
12. Orlov M. R. Strategicheskiye napravleniya razvitiya Ispytatel'nogo tsentra FGUP "VIAM" [Strategic directions of development of the Test center FSUE VIAM]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 5, pp. 387–393.
13. Barbotko S. L., Shurkova E. N. O pozharney bezopasnosti materialov, ispolzuyemykh dlya izgotovleniya vneshnego kontura samolyetov [About fire safety of the materials used for manufacturing of an external contour of aircrafts]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 10, pp. 19–24.
14. Barbotko S. L., Kirillov V. N., Shurkova E. N. Otsenka pozharney bezopasnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov aviatsionnogo naznacheniya [Estimation of fire safety for polymeric composite materials of aviation purpose]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 3, pp. 56–63.
15. *Aviation rules. Chapter 25. Airworthiness norms of a transport category airplanes*. Interstate Aviation Committee. Ed. 3 with amendments 1–6. Moscow, Aviaizdat, 2009. 274 p. (in Russian).
16. *Industry Standard 1 90094–79. Polymeric materials. Method of determination of combustibility of decorative and finishing and constructional polymeric materials*. Available at: vniiki.ru/document/3578966.aspx (Accessed 20 September 2013) (in Russian).
17. *State Standard 24632–81. Materials polymer. Method for determination of smoke development*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1981 (in Russian).
18. *AITM 3.0005. Determination of Specific Gas Components of Smoke Generated by Component Parts or Sub-Assemblies of Aircraft Interior*. Airbus Industrie Technical Material. Available at: <http://www.delsen.com/pdfs/a2lalist10a.pdf> (Accessed 20 September 2013).
19. *BSS 7239. Test Method for Toxic Gas Generation by Materials on Combustion*. Boeing Specification Support Standard. Available at: http://www.delsen.com/alpha_test_list.htm (Accessed 20 September 2013).
20. *SMP 800-C(2000). Toxic Gas Generation Test, 2000*. Available at: <http://www.ecoglo.ca/e20-series-strip> (Accessed 20 September 2013).
21. Barbotko S. L., Shurkova E. N., Volnyy O. S., Skrylyev N. S. Otsenka pozharney bezopasnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov dlya vneshnego kontura aviatsionnoy tekhniki [Estimation of fire safety of polymeric composite materials for an external contour of aviation techniques]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2013, no. 1, pp. 56–59.
22. Shurkova E. N., Barbotko S. L., Dement'yeva L. A., Serezhnikov A. A. Sopostavleniye pozharoopasnosti PKM na osnove kleevykh prepregov, ispolzuyemykh dlya izgotovleniya konstruktsiy vneshnego kontura aviatsionnoy tekhniki [Comparison of fire safety of PKM on the basis of the glue prepregs used for manufacturing of designs of external circuit of aviation engineering]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii — Glues. Sealing. Technologies*, 2013, no. 8, pp. 13–17.
23. Barbotko S. L., Golikov N. I. O kompleksnoy otsenke pozharney opasnosti materialov [About a complex estimation of fire danger of materials]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 6, pp. 16–24.
24. Kuzmin S. V., Barbotko S. L. Vliyaniye nekotorykh faktorov na teplovydeleniye stekloplastikov [Influence of some factors on a heat release of fiberglasses]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2002, issue 3, pp. 51–54.

В. М. БАЛАКИН, канд. хим. наук, профессор кафедры технологии переработки пластмасс ФГБОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет (Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37; e-mail: balakin_v.m@mail.ru)

С. В. ИСЛЕНТЬЕВ, аспирант кафедры технологии переработки пластмасс ФГБОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет (Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37; e-mail: islentyev_c.v@mail.ru)

Д. Ш. ГАРИФУЛЛИН, старший преподаватель кафедры технологии переработки пластмасс ФГБОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет (Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37; e-mail: damir26-86@mail.ru)

Н. М. ВЛАСОВА, студентка кафедры технологии переработки пластмасс ФГБОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет (Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37)

УДК 66.022.387:661.174

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ОСНОВЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ АМИНОЛИЗА ПОЛИКАРБОНАТА

Изучена реакция аминотриазолиза поликарбоната моноэтаноламином, диэтаноламином, этилендиамином, диэтилентриамином и полиэтиленполиамином. На основе азотсодержащей части продуктов аминотриазолиза поликарбоната получены фосфорсодержащие огнезащитные составы. Первичная оценка полученных составов показала их высокую эффективность в качестве огнезащитных покрытий для древесины.

Ключевые слова: поликарбонат; аминотриазолиз; дифенилпропан; огнезащитный состав для древесины.

Древесина и древесные материалы являются важнейшими строительными материалами. Широкое применение их связано с тем, что древесина экологична, обладает относительно высокой прочностью, малой плотностью, небольшой теплопроводностью и легко поддается любым методам механической обработки. Однако древесина имеет и ряд недостатков, что ограничивает ее применение. Так, одним из основных недостатков древесины является ее повышенная горючесть, обусловленная органической природой материала [1, 2], поэтому возникает необходимость в огнезащите конструкций, выполненных из древесины.

На кафедре технологии переработки пластмасс Уральского государственного лесотехнического университета проводятся работы по утилизации гетероцепных полимеров с получением на основе продуктов деструкции огнезащитных составов для древесины [3–5]. Настоящая работа является логическим продолжением этих исследований, в которых в качестве полимера используется поликарбонат.

Цель данной работы — получение фосфорсодержащих огнезащитных составов для древесины на основе азотсодержащих продуктов аминотриазолиза поликарбоната и изучение их огнезащитной эффективности.

В работе был использован ароматический поликарбонат (ПК) марки Makrolon OD 2015 (производства Bayer Material Science AG) со средневязкостной молекулярной массой 18000 г/моль. В качестве агентов деструкции применялись моноэтаноламин (МЭА), диэтаноламин (ДЭА), этилендиамин (ЭДА), диэтилентриамин (ДЭТА) марки ХЧ (химический чистый) и полиэтиленполиамин (ПЭПА) (производства ОАО “Каустик”).

Огнезащитный состав получали в несколько стадий. Первоначально проводилась реакция аминотриазолиза поликарбоната при температуре 100–140 °С и при массовом соотношении поликарбоната и амина 1:1. Схема аминотриазолиза поликарбоната представлена на рис. 1. Продукты аминотриазолиза представляют собой смесь, состоящую из аддукта амина и дифенилпропана (ДФП) (1), избыточного амина (3) и других продуктов деструкции поликарбоната, имеющих мочевиновые или уретановые группировки (2) (см. рис. 1) [6, 7].

Далее в продукт аминотриазолиза вводился водный раствор соляной кислоты до кислой реакции среды, в результате чего выпадал осадок. Для установления структуры полученный осадок отфильтровывался, промывался водой, перекристаллизовывался и анализировался методом ИК-спектроскопии (рис. 2).

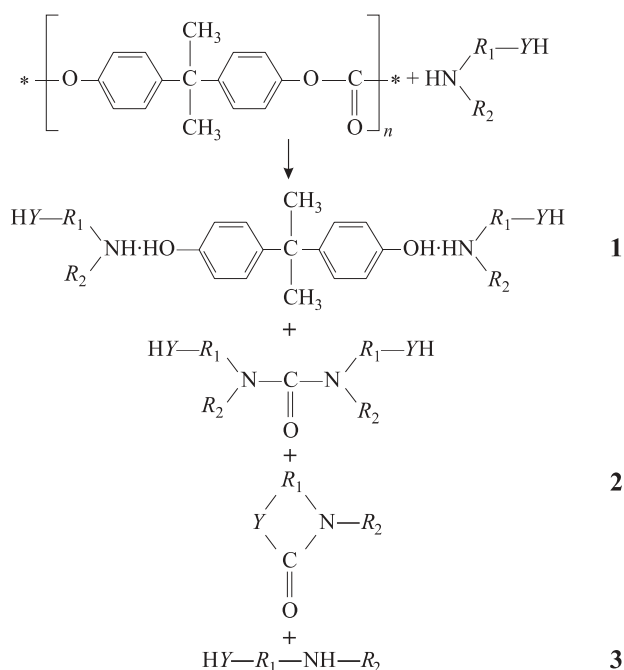


Рис. 1. Схема деградации поликарбоната аминами: R_1 — $-\text{C}_2\text{H}_4-$; R_2 — $-\text{C}_2\text{H}_4-\text{OH}$, $-\text{H}$, $-\text{C}_2\text{H}_4-\text{NH}$; Y — O , NH

Как видно из рис. 2, спектры ДФП и осадка идентичны и имеют полосы поглощения в области 3300 см^{-1} (валентные колебания OH -групп), 1600 – 1500 см^{-1} (валентные колебания связей $\text{C}=\text{C}$ ароматических колец), дубликеты полос в области 1600 , 1100 – 1000 и 900 – 700 см^{-1} (производные дифенила), а также полосу 1175 см^{-1} (изопропильная группа). Полученный осадок имеет температуру плавления $156,5^\circ\text{C}$, в свою очередь температура плавления

чистого дифенилолпропана составляет 157°C . Следовательно, полученный осадок является дифенилолпропаном. Для определения степени чистоты осадок анализировался методом газожидкостной хроматографии, совмещенным с масс-спектрометрией (ГЖХ–МС) (рис. 3). Использовался газожидкостный хроматограф марки Shimadzu GC-2010 с пламенно-ионизационным детектором (ГЖХ–ПИД) и хромато-масс-спектрометр марки Trace GC Ultra DSQ II (фирмы Thermo Scientific).

Как видно из рис. 3, основным веществом в осадке является ДФП, в малых количествах присутствует также третбутилфенол, который используется в синтезе ПК как регулятор молекулярной массы [8]. Выход ДФП в зависимости от применяемого агента деградации составляет 93–99 %.

Полученный после разделения суспензии кислый маточник представляет собой водный раствор хлоргидратов аминов и водорастворимых продуктов деградации поликарбоната. Данный раствор используется в реакции фосфорилирования как аминоксодержащий реагент для получения α -аминометиленфосфоновых кислот [9, 10]. Реакцию фосфорилирования проводят путем взаимодействия кислого маточника с фосфористой кислотой и формальдегидсодержащим сырьем (формалин или параформальдегид) при температуре не менее 90°C в течение 2 ч. Далее полученный продукт нейтрализуется водным раствором аммиака до $\text{pH} = 7$ с получением аммонийных солей α -аминометиленфосфоновых кислот. Нейтрализованный продукт фосфорилирова-

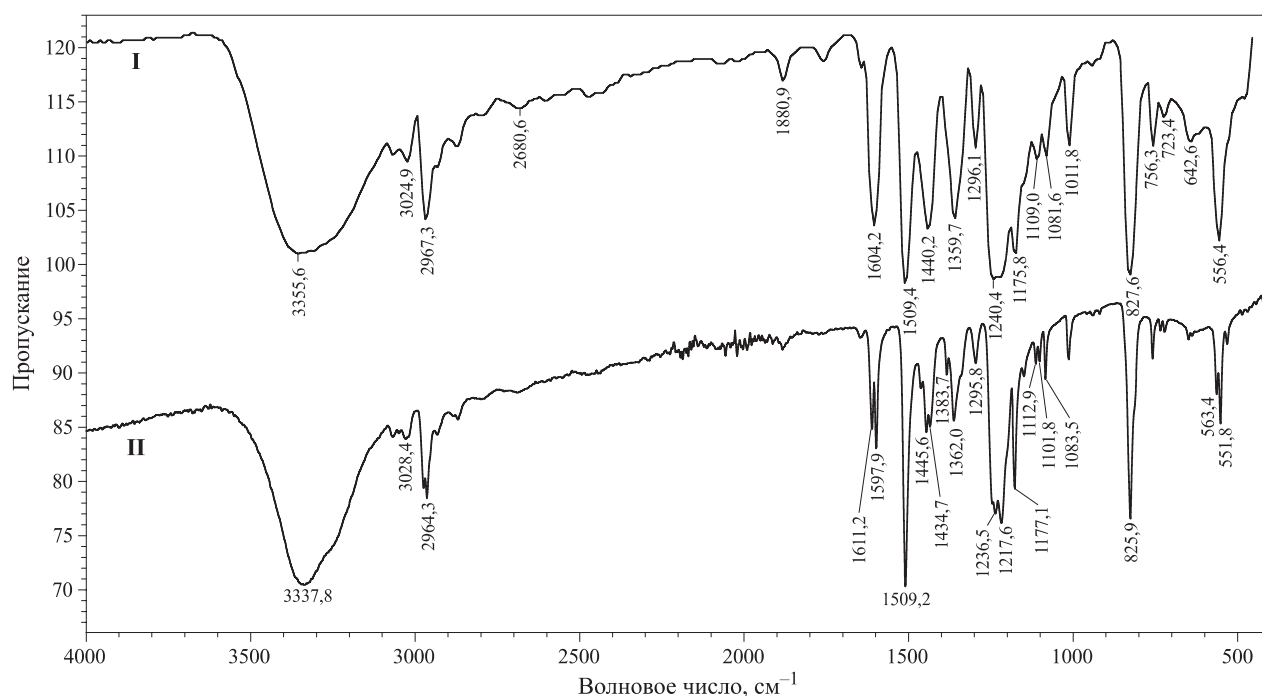


Рис. 2. ИК-спектры дифенилолпропана (I) и осадка (II)

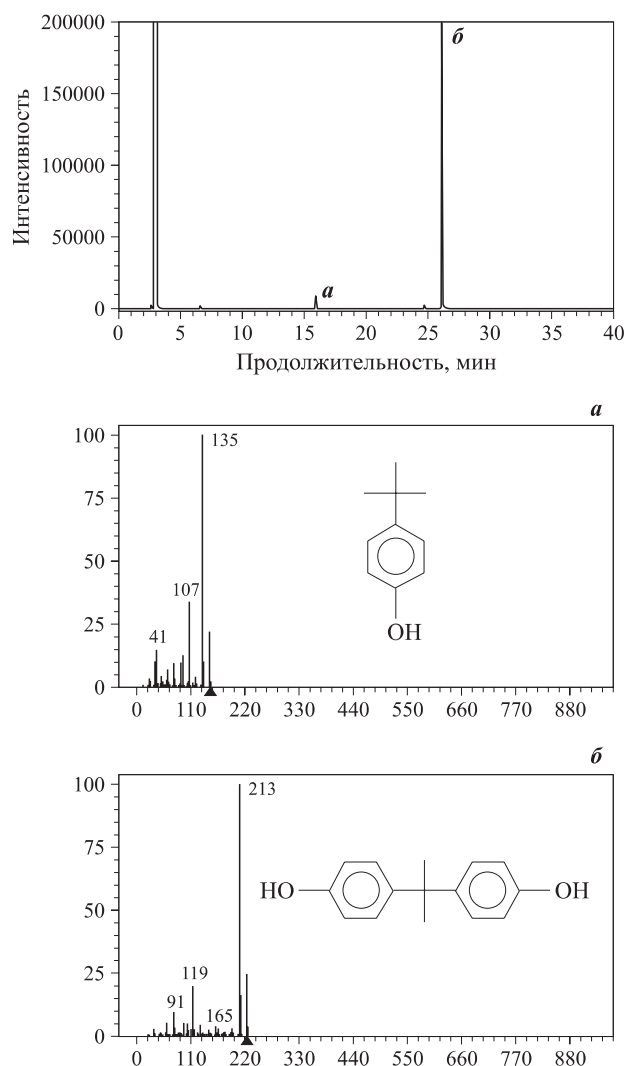


Рис. 3. Данные, полученные методом ГЖХ–МС для ДФП

ния используется в качестве огнезащитного состава для древесины и древесных материалов.

Схема получения фосфорсодержащего огнезащитного состава для древесины представлена на рис. 4.

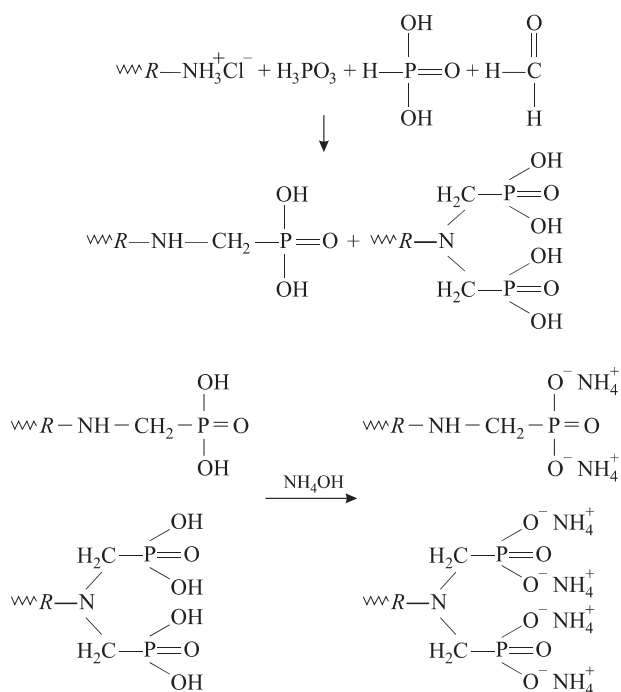


Рис. 4. Схема получения огнезащитного состава

Основные физико-химические свойства полученных составов приведены в таблице.

Первичная оценка эффективности фосфорсодержащих огнезащитных составов проводилась на установке типа ОТМ [11, 12]. По результатам огневых испытаний определялась потеря массы образцов древесины в зависимости от расхода огнезащитного состава (рис. 5). Из рисунка видно, что полученные составы обладают высокой огнезащитной эффективностью и уже при расходе 125 г/м² потеря массы образцов древесины составляет менее 9 %.

Таким образом, в ходе работы была исследована реакция аминолита поликарбоната. Была представлена возможность получения эффективных огнезащитных составов для древесины на основе азотсодержащих продуктов аминолита с одновре-

Физико-химические свойства огнезащитных составов

Состав	Амин	Формальдегидсодержащий компонент	Внешний вид	Плотность, г/см ³	Вязкость по ВЗ-4, с	Сухой остаток, %
ОЗС-1а	МЭА	Формалин	Прозрачная жидкость желтого цвета	1,17	10,2	43,92
ОЗС-1б		Параформальдегид		1,20	11,2	52,35
ОЗС-2а	ДЭА	Формалин	Прозрачная жидкость желтого цвета	1,13	9,8	38,61
ОЗС-2б		Параформальдегид		1,17	10	47,00
ОЗС-3а	ЭДА	Формалин	Прозрачная жидкость красного цвета	1,17	10,2	39,99
ОЗС-3б		Параформальдегид		1,20	10,6	48,77
ОЗС-4а	ДЭТА	Формалин	Прозрачная жидкость красного цвета	1,17	11,2	45,57
ОЗС-4б		Параформальдегид		1,21	11,8	49,68
ОЗС-5а	ПЭПА	Формалин	Прозрачная жидкость красного цвета	1,16	10,6	45,10
ОЗС-5б		Параформальдегид		1,18	11,4	51,95

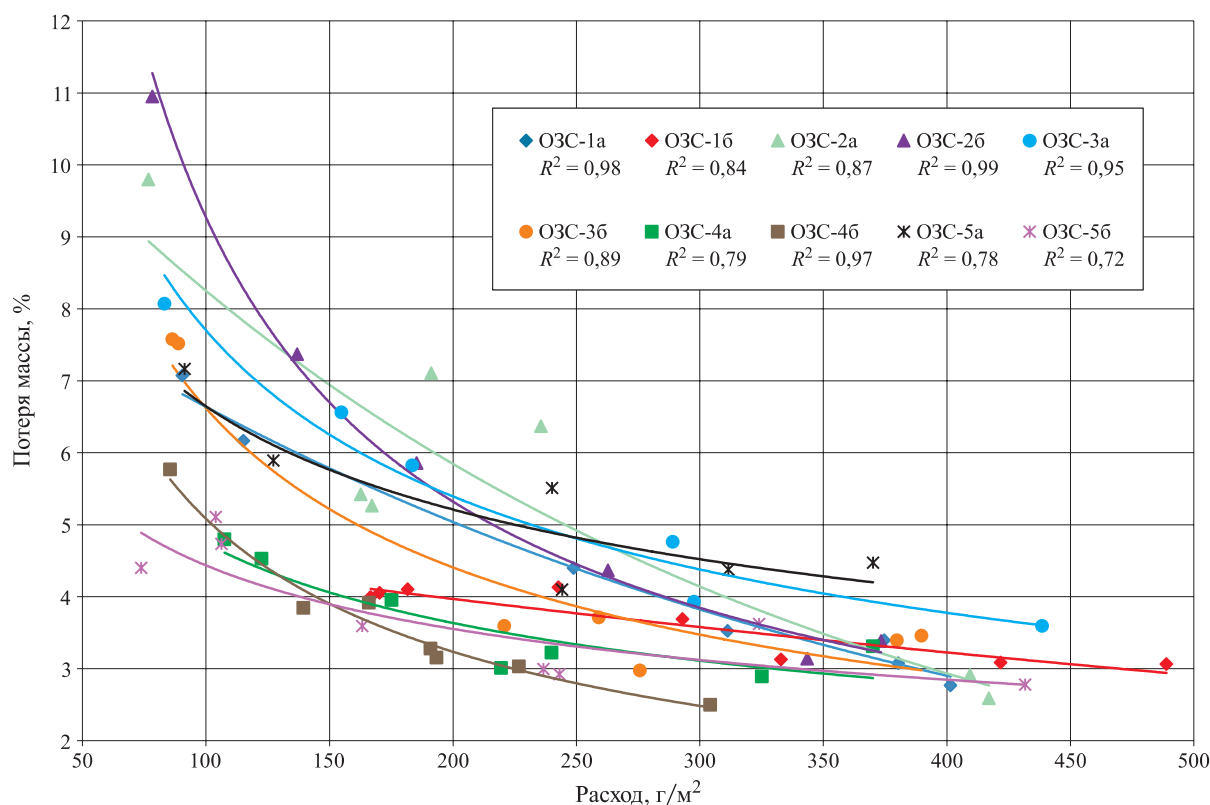


Рис. 5. Зависимость потери массы образцов древесины от расхода фосфорсодержащих огнезащитных составов

менным получением дифенилолпропана. В дальнейшем планируется проведение испытаний по-

лученных огнезащитных составов согласно СП 2.13130.2009 [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — 216 с.
2. Афанасьев С. В., Балакин В. М. Теория и практика огнезащиты древесины и древесных изделий : монография. — Самара : СНЦ РАН, 2012. — 138 с.
3. Балакин В. М., Гарифуллин Д. Ш., Ислентьев С. В. Азотфосфорсодержащие огнезащитные составы на основе продуктов аминолита полиуретанов // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 8. — С. 13–15.
4. Балакин В. М., Красильникова М. А., Стародубцев А. В., Киселева А. П. Огнезащитные составы для древесины на основе продуктов аминолита полиэтилентерефталата моноэтанолмином // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 26–30.
5. Балакин В. М., Красильникова М. А., Стародубцев А. В., Гарифуллин Д. Ш., Киселева А. П. Огнезащитные составы для древесины на основе продуктов аминолита ПЭТФ диаминами и полиаминами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 2. — С. 27–30.
6. Ming-Shui Li, Chen-Chi M. The mechanism and model reaction of epoxy-polycarbonate blends cured with aliphatic amines // Polymer. — 1997. — Vol. 38, No. 4. — P. 845–853.
7. Hata S., Goto H., Yamada E., Oku A. Chemical conversion of poly(carbonate) to 1,3-dimethyl-2-imidazolidinone (DMI) and bisphenol A: a practical approach to the chemical recycling of plastic wastes // Polymer. — 2002. — Vol. 43, No. 7. — P. 2109–2116.
8. Advances in Polycarbonates / Daniel J. Brunelle, Michael R. Korn (eds). — Washington : American Chemical Society, 2005. — 298 p.
9. Дятлова Н. М., Темкина В. Я., Попов К. И. Комплексоны и комплексонаты металлов. — М. : Химия, 1988. — 544 с.
10. Черкасов Р. А., Галкин В. И. Реакция Кабачника–Филдса: синтетический потенциал и проблема механизма // Успехи химии. — 1998. — 67(10). — С. 940–968.

11. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — М. : Изд-во стандартов, 1989; ИПК Изд-во стандартов, 1996; 2001.
12. НПБ 251–98. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний : приказ ГУГПС МВД России от 31.03.98 г. № 30; приказ МЧС России от 18.06.2003 г. № 316; введ. 30.04.98 г. — М. : ВНИИПО МВД России, 1998. — 10 с.
13. СП 2.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 172; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

Материал поступил в редакцию 14 октября 2013 г.

English

PHOSPHORUS-CONTAINING FIREPROOF COMPOSITIONS FOR WOOD ON BASIS OF NITROGEN COMPOUND PRODUCTS OF AMINOLYSIS OF POLYCARBONATE

BALAKIN V. M., Candidate of Chemistry Sciences, Professor of Department of Plastic Processing Technology, Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Ural State Forestry University (Sibirskiy Trakt St., 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail address: balakin_v.m@mail.ru)

ISLENTYEV S. V., Postgraduate Student of Department of Plastic Processing Technology, Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Ural State Forestry University (Sibirskiy Trakt St., 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail address: islentyev_c.v@mail.ru)

GARIFULLIN D. Sh., Senior Lecturer of Department of Plastic Processing Technology, Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Ural State Forestry University (Sibirskiy Trakt St., 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail address: damir26-86@mail.ru)

VLASOVA N. M., Student of Department of Plastic Processing Technology, Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Ural State Forestry University (Sibirskiy Trakt St., 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation)

ABSTRACT

The purpose of the yielded work is synthesis and studying of properties of fireproof compositions for wood on the basis of aminolysis products polycarbonate. Monoethanolamine, diethanolamine, ethylenediamine, diethylenetriamine and polyethylenepolyamine were used as the amines. Aminolysis products are a mixture consisting of amine adduct and diphenylolpropane, the excess amine, and other degradation products polycarbonate having urea or urethane groups. Aminolysis products by acidification with hydrochloric acid will precipitate out — diphenylolpropane. Obtained after the separation of the slurry nitrogen-containing portion of the product is used in the aminolysis reaction Kabachnik–Fields as a reagent for the synthesis of amine-containing α -aminomethylene acids. Further phosphorylation resulting product is neutralized with aqueous ammonia solution to give the ammonium salts of α -aminomethylene acids. Neutralized with aqueous ammonia solution product is used as fireproof composition for wood and arboreal stuffs.

Initial evaluation of the effectiveness of phosphorus-containing fireproof showed that at a rate of more than 125 g/m² all fireproof composition provide a weight loss of wood samples of less than 9 %.

Keywords: polycarbonate; aminolysis; diphenylolpropane; fireproof composition for wood.

REFERENCES

1. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Goreniye drevesiny i yeye pozharoопасnyye svoystva* [Wood combustion and its fire-dangerous properties]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2010. 262 p.

2. Afanasyev S. V., Balakin V. M. *Teoriya i praktika ognezashchity drevesiny i drevesnykh izdeliy* [Theory and practice of fire protection of wood and wood products]. Samara, SSC of the RAS Publ., 2012. 138 p.
3. Balakin V. M., Garifullin D. Sh., Islentyev S. V. Azotfosforsoderzhashchiye ognezashchitnyye sostavy na osnove produktov aminoliza poliuretanov [Azote-phosphorus-containing fireproof compositions on the basis products of aminolysis of polyurethanes]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 8, pp. 13–15.
4. Balakin V. M., Krasilnikova M. A., Starodubtsev A. V., Kiseleva A. P. Ognezashchitnyye sostavy dlya drevesiny na osnove produktov aminoliza polietilentereftalata monoetanolinom [Retardants for wood-based products aminolysis of PET by monoethanolamine]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 26–30.
5. Balakin V. M., Krasilnikova M. A., Starodubtsev A. V., Garifullin D. Sh., Kiseleva A. P. Ognezashchitnyye sostavy dlya drevesiny na osnove produktov aminoliza PETF diaminami i poliaminami [Retardants for wood-based products aminolysis of PET by diamines and polyamines]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 2, pp. 27–30.
6. Ming-Shui Li, Chen-Chi M. The mechanism and model reaction of epoxy-polycarbonate blends cured with aliphatic amines. *Polymer*, 1997, vol. 38, no. 4, pp. 845–853.
7. Hata S., Goto H., Yamada E., Oku A. Chemical conversion of poly(carbonate) to 1,3-dimethyl-2-imidazolidinone (DMI) and bisphenol A: a practical approach to the chemical recycling of plastic wastes. *Polymer*, 2002, vol. 43, no. 7, pp. 2109–2116.
8. Daniel J. Brunelle, Michael R. Korn (eds). *Advances in Polycarbonates*. Washington, American Chemical Society, 2005. 298 p.
9. Dyatlova N. M., Temkina V. Ya., Popov K. I. *Kompleksy i kompleksony metallov* [Metal chelators and complexones]. Moscow, Khimiya Publ., 1988. 544 p.
10. Cherkasov R. A., Galkin V. I. Reaktsiya Kabachnik–Fildsa: sinteticheskiy potentsial i problema mekhanizma [Reactions of Kabachnik–Fields: synthetic potential and problem of mechanism]. *Uspekhi Khimii — Russian Chemical Reviews*, 1998, vol. 10, no. 67, pp. 940–968.
11. *Interstate Standard 12.1.044–89*. Occupational safety standards system. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989; IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2001 (in Russian).
12. *Fire protection standards 251–98. Fire retardant compositions and substances for wood. General requirements. Test methods*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1998. 10 p. (in Russian).
13. *Set of rules 2.13130.2009. Systems of fire protection. Fire-resistance security of protecting units*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 19 p. (in Russian).

И. В. СИТНИКОВ, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного архитектурно-строительного университета (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: ivsitnikov@vgasu.vrn.ru)

П. А. ГОЛОВИНСКИЙ, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры инноватики и строительной физики Воронежского государственного архитектурно-строительного университета (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: golovinski@bk.ru)

А. А. ОДНОЛЬКО, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Воронежского государственного архитектурно-строительного университета (Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; e-mail: aaodnolko@vgasu.vrn.ru)

УДК 614.841.41

ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ПОЖАРА ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ ТОЛУОЛА

Выполнен анализ основных математических моделей динамики пожара и разработана интегральная модель для определения требуемого времени эвакуации людей из производственного помещения в условиях неустойчивого режима горения толуола. Систематизированы и подробно описаны используемые в модели нелинейные эмпирические зависимости. Для проверки сформулированной модели пожара подготовлены и проведены численные эксперименты по моделированию динамики пожара в производственном помещении с толуолом при разных вариантах функционирования системы дымоудаления. Показана возможность выбора оптимального режима вентиляции для улучшения условий безопасной эвакуации людей из зоны задымления. Обсуждены пути дальнейшего совершенствования модели и ее применения.

Ключевые слова: пожарный риск; моделирование пожара; горение; опасные факторы пожара; требуемое время эвакуации; противодымная вентиляция.

Введение

В России ежегодно на объектах различного назначения происходит порядка 170 тысяч пожаров, на которых гибнет 12–15 тысяч человек и почти столько же получает травмы. Риск гибели людей составляет около $9 \cdot 10^{-5}$, что намного превышает аналогичный показатель в зарубежных странах [1–3]. Для оценки пожарных рисков широко применяется моделирование динамики пожара. Оно необходимо при разработке и обосновании объемно-планировочных и технических решений в строительстве, при оценке пределов огнестойкости строительных конструкций, а также при разработке рекомендаций, направленных на повышение безопасности эвакуации людей [4, 5].

Существует три основных типа математических моделей динамики пожара: интегральная, зонная и полевая (дифференциальная) [2, 4]. Интегральная модель описывает в самом общем виде изменение основных параметров газовой среды в помещении, усредненных по объему [4, 6–8]. Зонная модель в отличие от интегральной предполагает разделение всего объема помещения на несколько условных зон, для каждой из которых составляются уравнения ма-

териального и энергетического баланса [9–14]. Она позволяет более детально описать термогазодинамическую картину пожара в помещении, но усложняет математические расчеты, которые выполняются, в частности, с помощью программы CFAST (Consolidated Fire Growth and Smoke Transport Model) [15]. Полевая (дифференциальная) модель в отличие от интегральной и зонной основана на разбиении общего объема помещения на множество контрольных зон, для каждой из которых решается система уравнений в частных производных, описывающих сохранение массы, энергии и импульса [12, 13]. Эту модель рекомендуется применять для помещений сложной геометрической конфигурации или с большим количеством внутренних преград [2]. Исследование динамики пожара с помощью полевой модели требует значительных вычислительных ресурсов (в частности, программа FDS — Fire Dynamic Simulation) [15, 16]. В связи с этим в настоящее время детальное моделирование динамики пожара не всегда востребовано в инженерной практике; достаточно часто используются другие, более простые модели пожара.

Перечисленные модели содержат ряд допущений и упрощений, которые снижают точность результатов и ограничивают область их применения. Одним из них, в частности, является допущение о мгновенной стабилизации скорости выгорания горючей жидкости [2, 4, 11].

Целью данной работы является разработка модели динамики пожара и определения требуемого времени эвакуации людей в производственном помещении в условиях неустойчивого режима горения толуола. Отличие данной работы состоит в численном решении нелинейных дифференциальных уравнений интегральной модели горения.

Основные уравнения интегральной модели пожара

Для описания состояния газовой среды в интегральной модели пожара используются следующие основные средние по объему параметры [4–6]: плотность газовой среды ρ_m ; температура T_m ; давление p_m ; оптическая плотность дыма μ_m , а также парциальные плотности: монооксида углерода $\rho_{m(\text{CO})}$, диоксида углерода $\rho_{m(\text{CO}_2)}$, хлористого водорода $\rho_{m(\text{HCl})}$, кислорода $\rho_{m(\text{O}_2)}$. Все эти величины вычисляются как средние по объему: $x = (\int x dV)/V$ (где V — объем помещения). При формулировке интегральной модели предполагается, что газовая среда внутри помещения представляет собой смесь идеальных газов [4, 12] и состояние ее описывается уравнением Менделеева–Клапейрона. Описание процессов тепло- и массообмена осуществляется с применением среднеобъемных значений основных параметров газовой среды. Модель самого процесса выгорания материала основана на экспериментальных зависимостях, так же как и описание процесса теплопередачи в ограждающие конструкции [4].

Для описания изменения среднеобъемной плотности газовой среды используется дифференциальное уравнение [4, 6], выражающее закон сохранения массы (изменение массы газовой среды в помещении за единицу времени равно алгебраической сумме потоков масс, переносимых через границы системы):

$$V \frac{d\rho_m}{d\tau} = \psi + G_a - G_g + G_{in} - G_{ex}, \quad (1)$$

где τ — время развития пожара;

ψ — скорость выгорания (газификации) материала;

G_a — массовый расход воздуха, поступающего в помещение из окружающей среды через естественную вентиляцию за счет разности внутреннего и внешнего давлений;

G_g — массовый расход газа (продуктов горения) из помещения в окружающую среду через естественную вентиляцию;

G_{in} — массовый расход воздуха, поступающего в помещение из окружающей среды через механическую вентиляцию;

G_{ex} — массовый расход газа, уходящего из помещения в окружающую среду через механическую вентиляцию.

Уравнение энергетического баланса газовой среды при пожаре в помещении имеет вид [4]:

$$V \frac{d}{d\tau} \left(\frac{p_m}{k-1} \right) = (\eta Q_{ch} + h_g) \psi + c_{pg} T_a (G_a + G_{in}) - c_{pg} T_m (G_g + G_{ex}) - Q_w, \quad (2)$$

где k — показатель адиабаты газовой среды, принимаемый равным 1,4;

η — коэффициент полноты сгорания материала; $\eta = 0,97$;

Q_{ch} — удельная теплота сгорания материала;

h_g — энтальпия газовой среды в помещении, которая находится из выражения $(\eta Q_{ch} + h_g) \psi$ и складывается из теплоты, поступающей в газовую среду от реакции горения $(\eta Q_{ch} \psi)$, и теплоты, поступающей в газовую среду вместе с продуктами газификации $(h_g \psi)$ [4];

c_{pg} — удельная изобарная теплоемкость газовой среды в помещении, принимаемая согласно табличным данным теплоемкости воздуха при 20 °C равной 1006 Дж/(кг·K);

T_a — температура наружного воздуха, являющаяся постоянной величиной;

Q_w — суммарный тепловой поток через ограждающие конструкции.

Левая часть уравнения (2) представляет собой скорость изменения внутренней энергии газовой среды при постоянном объеме в единицу времени [4]. В правой части уравнения (2) учтены такие факторы, как количество тепла, поступающего за единицу времени в газовую среду в результате горения (тепловыделения); сумма внутренней тепловой энергии поступающего газа и работы проталкивания внешней атмосферы; сумма внутренней тепловой энергии, уносимой уходящими газами, и работы выталкивания; тепловой поток, поглощаемый ограждающими конструкциями.

Уравнение материального баланса для кислорода имеет вид [4]:

$$V \frac{d\rho_{m(\text{O}_2)}}{d\tau} = -\eta L_{\text{O}_2} \psi + x_{a(\text{O}_2)} (G_a + G_{in}) - x_{\text{O}_2} (G_g + G_{ex}), \quad (3)$$

где L_{O_2} — количество кислорода, потребляемого при горении;

$x_{a(\text{O}_2)}$ — массовая доля кислорода в наружном воздухе; $x_{a(\text{O}_2)} = 0,23$;

x_{O_2} — доля кислорода в газовой среде.

Уравнение (3) учитывает, что очаг пожара является потребителем кислорода. В роли источника кислорода выступает приток воздуха, создаваемый механической и естественной вентиляцией. Потребителем кислорода является также вытяжка, создаваемая механической и естественной вентиляцией.

Левая часть уравнения (3) описывает скорость изменения массы кислорода. В правой части учтена масса кислорода, потребляемого горючим материалом за единицу времени; количество кислорода, поступающего через системы естественной и механической вентиляции, и кислорода, уходящего через системы вентиляции.

Уравнение материального баланса для токсичных продуктов горения (монооксид углерода, диоксид углерода, хлористый водород) газовой среды имеет следующий общий вид [4]:

$$V \frac{d\rho_{mtg}}{dt} = \eta L_{tg} \psi - x_{tg} (G_g + G_{ex}), \quad (4)$$

где ρ_{mtg} — парциальная плотность рассматриваемого токсичного газа (монооксида углерода, диоксида углерода, хлористого водорода);

L_{tg} — количество рассматриваемого токсичного газа, выделяемого при горении материала;

x_{tg} — массовая доля рассматриваемого токсичного газа в газовой среде; $x_{tg} = \rho_{mtg} / \rho_m$.

Левая часть уравнения (4) задает скорость изменения массы токсичного газа. В правой части первый член представляет собой массу токсичного газа, поступающего с поверхности горючего материала за единицу времени; второй — массу токсичного газа, уходящего через системы естественной и механической вентиляции.

Уравнение баланса частиц дыма имеет вид [4, 6]:

$$V \frac{d\mu_m}{dt} = D\psi - \mu_m \left(\frac{G_g + G_{ex}}{\rho_m} \right) - k_c F_w, \quad (5)$$

где μ_m — плотность дымовых частиц;

D — дымообразующая способность горючего материала, Нп·м²/кг;

k_c — коэффициент седиментации частиц дыма на поверхности ограждающих конструкций;

F_w — площадь поверхности ограждающих конструкций.

Левая часть уравнения (5) задает скорость изменения полной массы частиц дыма. В правой части учитывается масса частиц дыма, поступающих с поверхности горючего материала за единицу времени; количество дыма, уходящего через системы вентиляции и осаждающегося на поверхности ограждающих конструкций помещения.

Дополнительные уравнения интегральной модели и начальные условия

Для полноты математической формулировки уравнений модели их необходимо дополнить явным видом входящих в них функций и начальными условиями. Часть необходимых функциональных зависимостей может быть получена в точной форме, а часть носит характер аппроксимаций эмпирических данных. Уравнение скорости выгорания горючего материала, т. е. газификации, имеет вид [4]:

$$\psi = \psi_s F_f, \quad (6)$$

где ψ_s — удельная скорость выгорания горючего материала;

F_f — площадь очага пожара.

Площадь очага пожара определяется по уравнениям:

- при горении жидкости

$$F_f = \pi r^2; \quad (7)$$

- при горении твердого материала

$$F_f = \pi (v_l \tau)^2, \quad (8)$$

где r — радиус розлива горючей жидкости;

v_l — линейная скорость распространения пламени по поверхности, определяемая по табличным данным.

Формула (8) справедлива при условии $v_l \tau < l_{\min}$ (где $l_{\min}$ — минимальный геометрический размер помещения).

Удельная скорость выгорания горючего материала

$$\psi_s = \psi_{s0} K + \frac{0,23(G_a + G_{in})}{L_{O_2} F_f} (1 - K), \quad (9)$$

где ψ_{s0} — удельная скорость выгорания материала на открытом воздухе;

K — функция режима пожара, введенная Кошмаровым Ю. А. [4] для описания скорости выгорания при любом из трех режимов горения (с достаточным количеством окислителя, при нехватке окислителя и промежуточном режиме).

Эмпирическая функция режима пожара

$$K = \left(\frac{x_{O_2}}{0,23} \right)^2 \exp \left[2 \left(1 - \frac{x_{O_2}}{0,23} \right) \right]. \quad (10)$$

Массовый расход воздуха, поступающего в помещение из окружающей среды через естественную вентиляцию за счет разности внутреннего и внешнего давлений, определяется по формуле [4, 17], суммирование в которой проводится по всем N проемам:

$$G_a = \frac{2}{3} \sqrt{2g\rho_a (\rho_a - \rho_m)} \times \sum_{i=1}^N \xi_i b_i [(y_* - y_{li})^{1,5} - (y_* - z_i)^{1,5}]. \quad (11)$$

Массовый расход газа (продуктов горения) из помещения в окружающую среду через естественную вентиляцию определяется по формуле [4, 17]:

$$G_g = \frac{2}{3} \sqrt{2g\rho_m(\rho_a - \rho_m)} \times \sum_{i=1}^N \xi_i b_i [(|y_* - y_{li}|)^{1,5} - (|y_* - Z_i|)^{1,5}]. \quad (12)$$

В (11) и (12) ρ_a — плотность наружного воздуха;
 g — ускорение свободного падения; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;
 ξ_i — коэффициент сопротивления i -го проема ($\xi_i = 1$ — проем полностью открыт; $\xi_i = 0$ — проем закрыт);
 b_i — ширина i -го проема;
 y_* — высота плоскости равных давлений;
 y_{li} — высота нижнего края i -го проема;
 y_{ti} — высота верхнего края i -го проема;
 Z_i — формальный параметр i -го проема.
 Формальный параметр Z_i для проема определяется из условий

$$Z_i = \begin{cases} y_{li}, & y_* \leq y_{li}; \\ y_*, & y_{li} < y_* < y_{ti}; \\ y_{ti}, & y_* \geq y_{ti}. \end{cases} \quad (13)$$

Высота плоскости равных давлений вычисляется по формуле

$$y_* = \frac{H}{2} - \frac{p_m - p_a}{g(\rho_a - \rho_m)}, \quad (14)$$

где H — высота помещения, в котором происходит пожар;

p_a — наружное атмосферное давление на уровне половины высоты помещения.

Массовый расход газа, уходящего из помещения в окружающую среду через механическую вентиляцию, определяется соотношением [17, 18]:

$$G_{ex} = \rho_m W_{ex}, \quad (15)$$

где W_{ex} — объемный расход газа, уходящего из помещения в окружающую среду через механическую вентиляцию.

Массовый расход воздуха, поступающего в помещение из окружающей среды через механическую вентиляцию, определяется соотношением [17, 18]:

$$G_{in} = \rho_a W_{in}, \quad (16)$$

где W_{in} — объемный расход воздуха, поступающего в помещение из окружающей среды через механическую вентиляцию.

Энтальпия газовой среды при пожаре в помещении

$$h_g = c_{pg} T_m. \quad (17)$$

Суммарный тепловой поток через ограждающие конструкции помещения [4, 19, 20]

$$Q_w = \alpha F_w (T_m - T_w), \quad (18)$$

где α — коэффициент теплопередачи между газовой средой и ограждающими конструкциями при пожаре в помещении;

T_w — температура внутренней поверхности ограждающих конструкций помещения при пожаре.

Предполагается, что коэффициент теплопередачи между газовой средой и ограждающими конструкциями, а также температура их внутренних поверхностей не зависят от пространственного расположения очага пожара и типа конструкций.

Коэффициент теплопередачи между газовой средой и ограждающими конструкциями при пожаре в помещении определяется по эмпирической формуле [4]:

$$\alpha = \begin{cases} 4,07 \sqrt[3]{T_m - T_w}, & T_m < 333 \text{ К}; \\ 11,6 \exp[0,0023(T_m - 273)], & T_m \geq 333 \text{ К}. \end{cases} \quad (19)$$

Температура T_w определяется формулой

$$T_w = T_0 + 0,2(T_m - T_0) + 0,00065(T_m - T_0)^2, \quad (20)$$

где T_0 — температура газовой среды в помещении перед пожаром.

Исходные характеристики (начальные условия) в помещении до пожара при нормальных условиях: начальная среднееобъемная плотность газовой среды $\rho_{m0} = 1,2041 \text{ кг/м}^3$; среднееобъемное давление $p_{m0} = 101325 \text{ Па}$; среднееобъемная парциальная плотность кислорода $\rho_{m(O_2)0} = 0,2315 \cdot 1,2041 \approx 0,2787 \text{ кг/м}^3$; среднееобъемная парциальная плотность монооксида углерода, диоксида углерода и хлористого водорода соответственно $\rho_{m(CO)0} = 0$, $\rho_{m(CO_2)0} = 0$, $\rho_{m(HCl)0} = 0$; среднееобъемная оптическая плотность среды $\mu_{m0} = 0$ (среда прозрачна).

Введенные дополнительные уравнения и начальные условия делают систему дифференциальных уравнений полной, однако решить полученную систему дифференциальных уравнений интегральной модели пожара удастся лишь численными методами.

Численное моделирование пожара в производственном помещении

Для проверки сформулированной модели пожара были подготовлены и проведены численные эксперименты. Моделирование динамики пожара в производственном помещении с обращением толуола было выполнено для трех сценариев функционирования системы дымоудаления:

1) система работает с постоянной объемной производительностью вытяжки $7,5 \text{ м}^3/\text{с}$;

2) система работает с постоянной объемной производительностью вытяжки $7,5 \text{ м}^3/\text{с}$ в течение 150 с, после чего происходит аварийная остановка;

3) система работает с постоянной объемной производительностью вытяжки $7,5 \text{ м}^3/\text{с}$ в течение 150 с, после чего происходит аварийная остановка; через

30 с включается резервная система с производительностью 11,25 м³/с.

Массовый расход вытяжки системы дымоудаления для каждого из рассматриваемых сценариев можно описать следующими зависимостями:

- первый сценарий:

$$G_{ex} = \rho_m W_{ex}; \quad (21)$$

- второй сценарий:

$$G_{ex} = \begin{cases} \rho_m W_{ex}, & \tau \leq 150; \\ 0, & \tau > 150; \end{cases} \quad (22)$$

- третий сценарий:

$$G_{ex} = \begin{cases} \rho_m W_{ex}, & \tau \leq 150; \\ 0, & 150 < \tau < 180; \\ 1,5 \rho_m W_{ex}, & \tau \geq 180. \end{cases} \quad (23)$$

Для численного моделирования пожара в рассматриваемых сценариях функционирования системы дымоудаления использовались исходные данные, приведенные в таблице. Численное моделирование было проведено в среде MatLAB.

На рис. 1 приведен график изменения массовых расходов вытяжки системы дымоудаления во времени для рассматриваемых сценариев ее функционирования.

Как видно из рис. 1, с момента времени 180 с производительность вытяжной системы дымоудаления для каждого из трех сценариев функционирования существенно расходится.

График изменения парциальной плотности кислорода газовой среды во времени при заданных сценариях функционирования системы дымоудаления представлен на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что в третьем сценарии (функционирование резервной системы дымоудаления с производительностью 11,25 м³/с) парциальная плотность кислорода не достигает предельно допустимого значения, что обеспечивает безопасную эвакуацию людей.

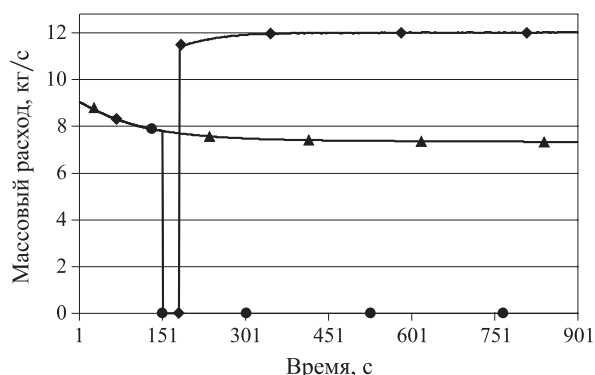


Рис. 1. Изменение массовых расходов вытяжки системы дымоудаления во времени для трех сценариев ее функционирования: ▲ — первый сценарий; ● — второй сценарий; ◆ — третий сценарий

Исходные данные для помещения

Характеристика	Значение
Размеры помещения, м:	
длина	30
ширина	30
высота	6
Параметры оконного проема, м:	
ширина	2
координата нижнего края	2
координата верхнего края	4
Параметры системы дымоудаления — объемный расход вытяжки, м³/с, для сценария:	
1 — работа на протяжении всего времени пожара	7,5
2 — отключение через 150 с после начала пожара	7,5
3 — отключение через 150 с после начала пожара	7,5
включение аварийной системы через 30 с после отключения основной	11,25
Физико-химические характеристики толуола:	
радиус розлива, м	1
низшая теплота сгорания, МДж/кг	40,9
удельная скорость выгорания, кг/(м²·с)	0,043
дымообразующая способность, Нп·м²/кг	562
количество кислорода, потребляемого на горение, кг/кг	3,098
количество газа, выделяемого при горении, кг/кг:	
монооксида углерода	0,148
диоксида углерода	3,677
хлористого водорода	0

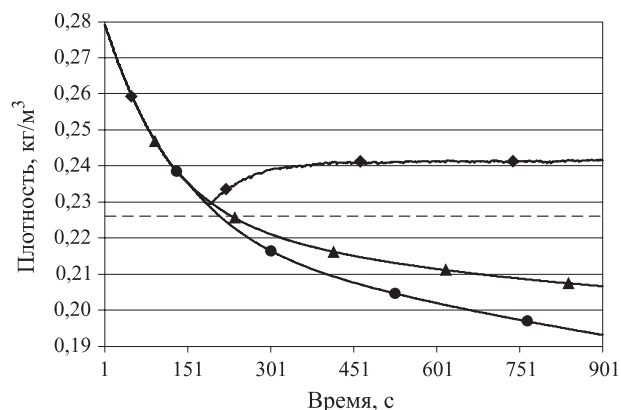


Рис. 2. Изменение парциальной плотности кислорода во времени для трех сценариев функционирования системы дымоудаления (обозначения см. на рис. 1): — — — — — предельно допустимое значение для человека

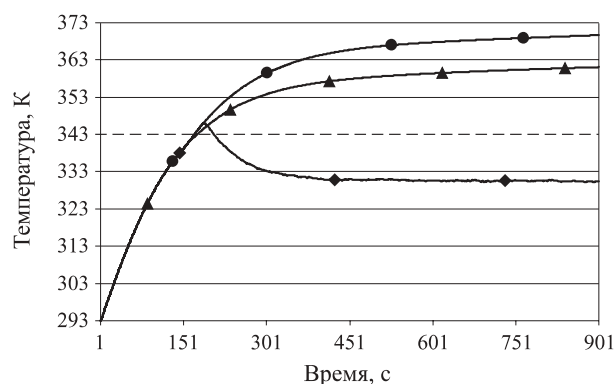


Рис. 3. Изменение температуры газовой среды во времени для трех сценариев функционирования системы дымоудаления (обозначения см. на рис. 1 и 2)

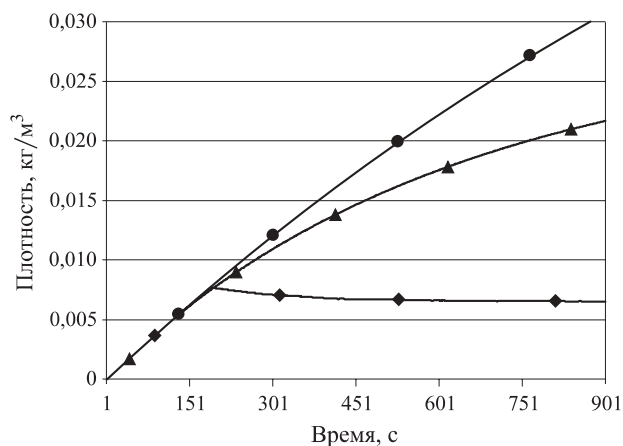


Рис. 4. Изменение парциальной плотности диоксида углерода во времени для трех сценариев функционирования системы дымоудаления (обозначения см. на рис. 1)

Динамика изменения температуры газовой среды для рассматриваемых сценариев представлена на рис. 3.

Как следует из рис. 3, при третьем сценарии развития пожара значение среднеобъемной температу-

ры газовой среды не намного превышает предельно допустимое значение и после небольшого промежутка времени снижается.

График изменения парциальной плотности диоксида углерода при заданных сценариях функционирования системы дымоудаления представлен на рис. 4.

Совокупность зависимостей (21)–(23) показывает эффективность применения резервных защищенных источников питания, обеспечивающих при пожаре усиленный режим вентиляции в течение короткого времени эвакуации людей.

Выводы

В работе предложена новая версия интегральной модели динамики пожара в производственном помещении, позволяющая определить требуемое время эвакуации людей в условиях неуставившегося режима горения толуола. Выполнено численное моделирование пожара в производственном помещении с обращением толуола в условиях функционирования системы дымоудаления в различных режимах. С целью увеличения допустимого значения времени эвакуации при пожаре предложен новый подход, заключающийся в использовании системы дымоудаления с переменной мощностью. Такая система позволяет увеличить требуемое время эвакуации за счет того, что после аварийного отключения источников питания включаются резервные источники и массовая производительность вентиляторов выходит на максимальное значение, резко замедляя тем самым динамику задымления. Дальнейшее совершенствование модели связано с переходом к зонной модели, что, по нашим предположениям, должно сохранить относительную простоту описания и быстрое действие алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Association of Fire and Rescue Services. Center of Fire Statistics. URL : <http://www.ctif.org> (дата обращения: 09.09.2013 г.).
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 71 с.
3. Корольченко А. Я., Бушманов С. А. Количественная оценка величины пожарного риска // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 6. — С. 27–29.
4. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
5. Однолько А. А., Колодяжный С. А., Старцева Н. А. Особенности тушения пожаров на различных объектах. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : ГОУВПО ВГАСУ, 2009. — 109 с.
6. Овсянников М. Ю., Родионов Е. Г. Частные решения уравнений интегрального метода описания пожара в помещении. Дымоудаление, линейное распространение горения по ТГМ. Критическая продолжительность пожара // Пожаровзрывобезопасность. — 2004. — Т. 13, № 5. — С. 81–85.

7. Однолько А. А., Ситников И. В. Проблемы применения математических моделей, определяющих время блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара при расчете пожарного риска // Инженерные системы и сооружения: ВГАСУ. — 2010. — № 1(2). — С. 185–191.
8. Однолько А. А., Ситников И. В. Определение величины пожарного риска в производственном помещении с выделением горючих жидкостей и газов // Научный вестник ВГАСУ: Строительство и архитектура. — 2011. — № 3. — С. 125–133.
9. Пузач С. В., Нгуен Тхань Хай. О достоверности применения эмпирических формул расчета массового расхода системы дымоудаления при пожаре в атриуме // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 9. — С. 35–44.
10. Васюков Г. В., Кожин П. А. Анализ исследований пожарной опасности водорода при нормальных условиях // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 7. — С. 4–21.
11. Пузач С. В., Фролов И. Е., Лебедевченко О. С., Абакумов Е. С., Нгуен Тхань Хай. Сравнительный анализ методов расчета массовых расходов системы дымоудаления при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 4. — С. 34–41.
12. Пузач С. В., Абакумов Е. С. Некоторые особенности термогазодинамической картины пожара в высоких помещениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 2. — С. 28–33.
13. Головинский П. А. Математические модели. — М.: Книжный дом “Либроком”, 2012. — Ч. 1, 240 с.; Ч. 2, 232 с.
14. NIST Special Publication 1026. CFAST — Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6). Technical Reference Guide. — NIST, 2005. — 92 p.
15. NIST Special Publication 1018-5. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model — NIST, 2008. — 86 p.
16. Варнатц Ю. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Пер. с англ. Г. Л. Агафонова.; под ред. П. А. Власова. — М.: Физматлит, 2003. — 352 с.
17. Батулин В. В. Основы промышленной вентиляции. — М.: Профиздат, 1990. — 448 с.
18. Chow W. K., Li Y. Z., Cui E., Huo R. Natural smoke filling in atrium with liquid pool fires up to 1.6 MW // Building and Environment. — 2001. — Vol. 21, No. 36. — P. 121–127.
19. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. — М.: Стройиздат, 1973. — 287 с.
20. Chow W. K., Li Y. Z., Huo R. A simple two-layer zone model on mechanical exhaust in an atrium // Building and Environment. — 2005. — Vol. 40, No. 7. — P. 869–880.

Материал поступил в редакцию 11 октября 2013 г.

English

INTEGRATED DYNAMICAL MODEL OF FIRE FOR UNSTABILIZED BURNING OF TOLUENE

SITNIKOV I. V., Postgraduate Student of Fire and Industrial Safety Department, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail address: ivsitnikov@vgasu.vrn.ru)

GOLOVINSKIY P. A., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of Innovation and Building Physics Department, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail address: golovinski@bk.ru)

ODNOLKO A. A., Candidate of Technical Sciences, Docent, Professor of Fire and Industrial Safety Department, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (20-letiya Oktyabrya St., 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; e-mail address: aadnolko@vgasu.vrn.ru)

ABSTRACT

This article gives an analysis of the basic fire mathematical models: integral, zone and differential. The advantages and disadvantages of these models were considered. It was developed fire

mathematical model, that determines the blocking escape routes of fire hazards in the workplace in terms of unsteady combustion mode of toluene. The analysis of additional equations and initial conditions of the fire model was carried out. Testing of a new fire model was carried out by numerical simulation experiments of exhaust mass flow smoke, temperature, partial densities of oxygen and carbon dioxide gas environment. Industrial building with circulation of toluene and three variants of the system smoke were used in the experiments. The analysis of the numerical experiment results has shown the possibility of selecting the optimum ventilation to improve the safe evacuation of people from the smoke area. The ways to further improve the model and its application were discussed.

Keywords: fire risk; modeling fire; burning; fire hazards; required the evacuation; smoke ventilation.

REFERENCES

1. *International Association of Fire and Rescue Services*. Available at: <http://www.ctif.org> (Accessed 9 September 2013).
2. *Methods of determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and buildings of various classes of functional fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 71 p. (in Russian).
3. Korol'chenko A. Ya., Bushmanov S. A. Kolichestvennaya otsenka velichiny pozharnogo riska [A quantitative estimate of the magnitude of fire risk]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 6, pp. 27–29.
4. Koshmarov Yu. A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Prediction of fire hazards in the room]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2000. 118 p.
5. Odnolko A. A., Kolodyazhnyy S. A., Startseva N. A. *Osobennosti tusheniya pozharov na razlichnykh ob'yektakh. 2-e izd., pererab. i dop.* [Features of fighting fires at various sites. 2nd ed.]. Moscow, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2009. 109 p.
6. Ovsyannikov M. Yu., Rodionov E. G. Chastnyye resheniya uravneniy integralnogo metoda opisaniya pozhara v pomeshchenii. Dymoudaleniye, lineynoye rasprostraneniye gorennya po TGM. Kriticheskaya prodolzhitel'nost pozhara [Private solutions of integral equations method of describing a fire in the room. Smoke removal, linear propagation of combustion by TGM. Critical duration of fire]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2004, vol. 13, no. 5, pp. 81–85.
7. Odnolko A. A., Sitnikov I. V. Problemy primeneniya matematicheskikh modeley opredelyayushchikh vremya blokirovaniya putey evakuatsii opasnymi faktormi pozhara pri raschete pozharnogo riska [Problems using mathematical models that determine the blocking time of evacuation routes hazards of fire in the calculation of fire risk]. *Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya. VGASU — Engineering Systems and Constructions*, 2010, no. 1(2), pp. 185–191.
8. Odnolko A. A., Sitnikov I. V. Opredeleniye velichiny pozharnogo riska v proizvodstvennom pomeshchenii s vydeleniyem goryuchikh zhidkostey i gazov [Determination of the fire risk in the manufacturing premises-chamber release of flammable liquids and gases]. *Nauchnyy vestnik VGASU: Stroitel'stvo i arkhitektura — Scientific Bulletin. Construction and Architecture*, 2011, no. 3, pp. 125–133.
9. Puzach S. V., Nguen Than Hai. O dostovernosti primeneniya empiricheskikh formul rascheta massovogo rashkoda sistemy dymoudaleniya pri pozhare v atriume [On the reliability of the use of empirical formulas for calculating mass flow of smoke in case of fire in the atrium]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 9, pp. 35–44.
10. Vasyukov G. V., Kozhin P. A. Analiz issledovaniy pozharnoy opasnosti vodoroda pri normalnykh usloviyakh [Analysis research fire hazard hydrogen under normal conditions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 7, pp. 4–21.
11. Puzach S. V., Frolov I. E., Lebedchenko O. S., Abakumov E. S., Nguen Than Hai. Sravnitel'nyy analiz metodov rascheta massovykh rashkodov sistemy dymoudaleniya pri pozhare v pomeshchenii [Comparative analysis of methods for calculating the mass flow of smoke in case of fire in the room]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 4, pp. 34–41.
12. Puzach S. V., Abakumov E. S. Nekotoryye osobennosti termogazodinamicheskoy kartiny pozhara v vysokikh pomeshcheniyakh [Some features termogazodinamicheskikh pictures of fire in high spaces]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 2, pp. 28–33.
13. Golovinskiy P. A. *Matematicheskiye modeli* [Mathematical models]. Moscow, Librocom Publ., 2012. Part 1, 240 p. Part 2, 232 p.

14. NIST Special Publication 1026. CFAST — Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6). Technical Reference Guide. NIST, 2005. 92 p.
15. NIST Special Publication 1018-5. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model. NIST, 2008. 86 p.
16. Varnatts Yu. *Physical and chemical aspects, modeling, experimentation, creation of pollutants*, 2003. 352 p. (Rus. Ed.: Vlasov P. A., Agafonova G. L. Gorenkiye. Fizicheskiye i khimicheskiye aspekty, modelirovaniye, eksperimenty, obrazovaniye zagryaznyayushchikh veshchestv, Fizmatlit Publ., 2003. 352 p.).
17. Baturin V. V. *Osnovy promyshlennoy ventilyatsii* [Fundamentals of industrial ventilation]. Moscow, Profizdat, 1990. 448 p.
18. Chow W. K., Li Y. Z., Cui E., Huo R. Natural smoke filling in atrium with liquid pool fires up to 1.6 MW. *Building and Environment*, 2001, vol. 21, no. 36, pp. 121–127.
19. Fokin K. F. *Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy* [Thermal engineering enclosing parts of buildings]. Moscow, Stroyizdat, 1973. 287 p.
20. Chow W. K., Li Y. Z., Huo R. A simple two-layer zone model on mechanical exhaust in an atrium. *Building and Environment*, 2005, vol. 40, no. 7, pp. 869–880.



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

20-я международная выставка и конференция

ufi
Approved
Event

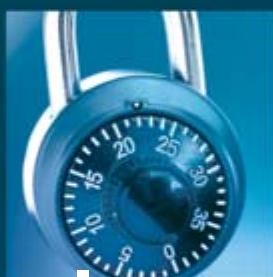
Mips
OSCOV

ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА

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

Нам 20 лет!

01010010111110101010010101010
01111110101010010101010101001010010111110101010010101010
1101010010001010101001010101010101000001011111010101001010100101111101010011001010101010
0001011111101010100101010101010100101010010111110101010010101010
00111010101001000101010100101010101010010000101111101010100101010101001010010111101010100101010



РЕКЛАМА

Охранное
телевидение
и наблюдение

Технические
средства
обеспечения
безопасности

Системы
защиты
периметра.
Ограждения

Пожарная
безопасность.
Аварийно-
спасательная
техника.
Охрана труда

Смарт карты



Организатор:



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

При поддержке:



МВД России

www.mips.ru





Пенообразователи

Шторм

Точный расчет на безопасность!

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

РЕКЛАМА

А. В. МИШУЕВ, д-р техн. наук, профессор, руководитель НТЦ "Взрывоустойчивость" Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; e-mail: mishuev@mail.ru)

В. В. КАЗЕННОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры гидравлики и водных ресурсов Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

В. В. КОМАРОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры гидравлики и водных ресурсов Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Н. В. ГРОМОВ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией газодинамики горения и взрыва Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Л. Н. ГУСАК, канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики и водных ресурсов Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

УДК 614.83

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ В ГОРОДЕ

Проведен анализ основных сценариев развития аварийной ситуации со взрывом и пожаром на автозаправочных станциях, расположенных в городской черте. На примере показаны последствия воздействия поражающих факторов в результате пожара пролива топлива, образования огненного шара при взрыве цистерны с топливом в очаге пожара, дефлаграционного и детонационного взрывов топливовоздушной смеси на расположенное вблизи здание.

Ключевые слова: автозаправочная станция; аварийный взрыв; пожар; повышенное давление; детонация; дефлаграция.

Возрастающее с каждым годом число автомобилей в городах России требует и увеличения количества автозаправочных станций (АЗС), что зачастую оказывается проблематичным. Дело в том, что в соответствии с Федеральным законом № 123-ФЗ [1] пожаровзрывоопасные объекты должны размещаться не ближе 50 м от объектов городской застройки.

Обратимся к статистике. По данным средств массовой информации за семь лет (с 2006 по 2013 гг.) в России зафиксировано 27 случаев взрывов и пожаров на АЗС, из них 10 — при перекачке горючего из автоцистерны в емкость; 9 — в результате террористических актов, в основном в республиках Северного Кавказа.

Проследим за развитием характерной ЧС на АЗС в Южной Корее летом 2010 г. (по данным Discovery Channel). При сливе топлива из автоцистерны в подземную емкость из-за неисправности шланга топливо разлилось по площадке АЗС, вследствие чего возник пожар пролива с образованием высокого (более 100 м) столба дыма и сажи, дрейфующего по ветру. Пожар охватил автоцистерну. В результате нагрева топлива давление в автоцистерне возросло, и она разрушилась. Топливо было выброшено в атмосферу, образовался мощный огневой шар.

В результате ЧС частично были разрушены окружающие АЗС здания; в зданиях, находящихся на значительном расстоянии от нее (100...300 м), были выбиты стекла окон, сгорели припаркованные у зданий автомобили.

Анализ ЧС на АЗС позволил разработать следующие сценарии развития ЧС.

Первый сценарий. В результате неисправности оборудования (обрыв шланга при перекачке топлива, трещина в шланге, неисправность насоса и др.), несоблюдения техники безопасности и других причин топливо попадает на поверхность площадки АЗС. Такое развитие ЧС возможно также при террористическом акте (пулевые отверстия в цистерне, ее подрыв).

При появлении источника зажигания (искра, горящая сигарета и др.) происходит воспламенение паров топлива (пожар пролива) на поверхности пролива без взрыва, так как времени для образования необходимого для взрыва (т. е. находящегося между нижним (НКПВ) и верхним (ВКПВ) концентрационными пределами взрываемости) количества топливовоздушной смеси (ТВС) оказывается недостаточно.

Из-за неполного сгорания топлива образуется высокий столб дыма и сажи, который легче воздуха и может дрейфовать по ветру. Высота такого столба может достигать нескольких сотен метров. Дым и сажа могут попасть внутрь помещений через открытые оконные проемы и вентиляционные отверстия.

Поражающим фактором является тепловое воздействие на людей и окружающую среду. Зона поражения зависит от количества разлившегося топлива, размеров очага пожара и действий пожарных расчетов.

Второй сценарий. Начало ЧС протекает по первому сценарию. Однако очаг пожара не удастся быстро ликвидировать, и огонь охватывает цистерну. При ее разрушении топливо под давлением попадает наружу (в атмосферу), распадаясь на мелкие капли, которые испаряясь образуют взрывоопасную топливовоздушную смесь. Смесь воспламеняется с образованием огневого шара с высокой температурой (до 1200 °С). При этом сценарии основным поражающим фактором является тепловое воздействие на окружающую среду. Зона поражения зависит от количества выброшенного в атмосферу топлива (емкости автоцистерны заправщика), которое определяет радиус огневого шара и расстояние от его границы до рассматриваемого объекта.

Третий сценарий. Начало развития ЧС происходит по первому сценарию: в результате аварии топливо из цистерны бензовоза попадает на площадку АЗС. Однако оно не загорается, как это было в первом сценарии, а начинает испаряться, образуя паротопливоздушную смесь. Формируется стелющееся облако этой смеси, так как ее плотность больше плотности атмосферного воздуха. Когда топливовоздушная смесь достигнет концентрации, находящейся между НКПВ и ВКПВ, возможен взрыв облака. Побудителем взрыва может послужить локальный пожар или случайный источник огня. В подавляющем большинстве случаев происходит дефлаграционный взрыв с образованием огненного шара и волны сжатия.

Основными поражающими факторами в этом сценарии развития ЧС являются: тепловое воздействие огненного шара, избыточное давление взрыва и скоростной напор волны сжатия. Взаимодействие последней с ограждающей конструкцией здания может быть в виде отражения, обтекания и затекания.

При затекании волны сжатия внутрь помещения в результате образовавшихся проемов вследствие разрушения оконного остекления, выбитых дверей и т. п. возможна гибель людей, разрушение оборудования, перегородок мебели и т. д. Причиной этого является высокое давление в волне сжатия и особенно скоростной напор при затекании ее в проемы относительно небольшой площади.

В результате террористического акта развитие ЧС может происходить по одному из описанных выше сценариев техногенного характера. Однако возможен и самый неблагоприятный случай развития ЧС, который приводит к детонационному взрыву ТВС.

Четвертый сценарий. Если в облаке ТВС, концентрация которого находится между НКПВ и ВКПВ, будет осуществлен взрыв заряда тротила (массой порядка 200 г), пластита или другого взрывчатого вещества (ВВ), то возможен детонационный взрыв топливовоздушного облака [2].

Детонационный взрыв характеризуется сверхзвуковой скоростью распространения пламени, созданием высокого избыточного давления (до 2000 кПа) за очень короткое время, практически мгновенно.

Поражающими факторами при детонационном взрыве газопаровоздушной смеси, в том числе ТВС, являются давление воздушной ударной волны и ее скоростной напор.

Следует отметить, что вероятность развития ЧС по четвертому сценарию крайне мала. Для того чтобы такая цепочка развития ЧС была реализована, террорист должен быть хорошо подготовлен, должен знать физические процессы взрыва газопаровоздушной смеси.

Однако подход к развитию чрезвычайной ситуации следует рассматривать с консервативной точки зрения, поэтому не учитывать возможность последствий террористического акта, приводящего к детонационному взрыву топлива на площадке АЗС, не следует.

Оценим поражающие факторы ЧС на АЗС по предлагаемым сценариям.

Первый сценарий. По расчетам при максимальном проливе топлива массой 30 т (максимальная масса топлива в цистерне бензовоза) приведенный диаметр пролива составит 30 м, высота пламени — 34 м, время горения — 12 мин [3].

На рис. 1 представлены графики снижения интенсивности теплового излучения и вероятности поражения человека в зависимости от расстояния от него до границы пролива [3, 4].

Второй сценарий. При консервативном подходе к ЧС и массе выброшенного в атмосферу топлива 30 т эффективный диаметр огневого шара составит 155 м, время его существования — 21 с [3].

Из рис. 2 видно, что в радиусе 77,5 м (радиус огневого шара) следует ожидать 100 %-ной гибели людей. На расстоянии 100 м от центра огневого шара вероятность летального исхода людей составит 80...90 % [5]. На расстоянии менее 200 м в зданиях произойдет разрушение окон из ПВХ-профиля, что приведет также к разрушению остекления и, как следствие, к пожару в зданиях.

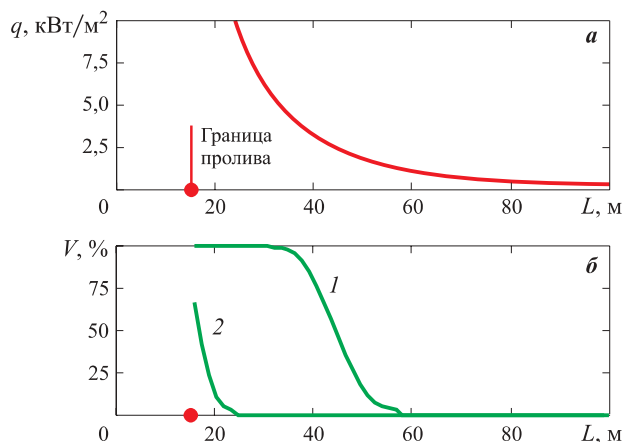


Рис. 1. Интенсивность теплового излучения q (а) и вероятность теплового поражения человека V (б) на различном расстоянии L от границы пролива: 1 — человек неподвижен; 2 — человек удаляется со скоростью 0,5 м/с

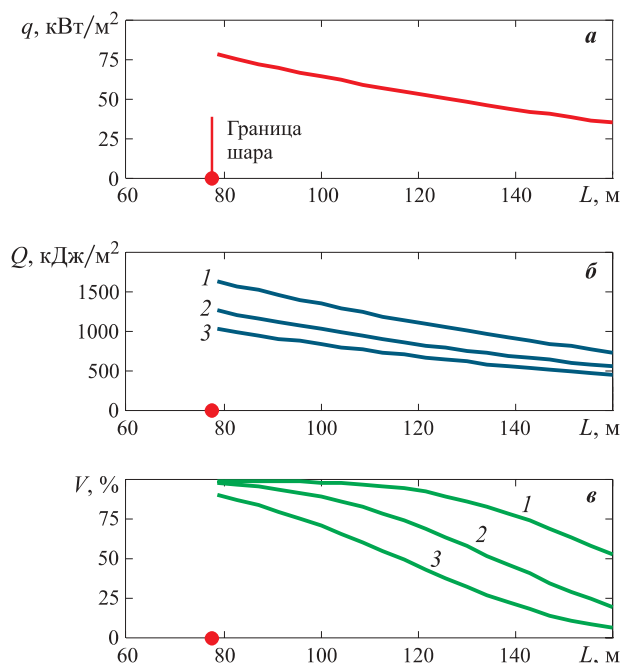


Рис. 2. Интенсивность теплового излучения q (а), доза теплового потока Q (б) и вероятность теплового поражения человека V (в) при воздействии на него излучения от огневого шара: 1 — человек неподвижен; 2 — человек удаляется со скоростью 2,5 м/с; 3 — человек удаляется со скоростью 5 м/с

Третий сценарий. Рассмотрим воздействие волны сжатия дефлаграционного взрыва ТВС на некоторое здание длиной 80 м, высотой 83 м, находящееся на расстоянии 75 м от источника взрыва (рис. 3).

Расчетное значение видимой скорости пламени равно 118 м/с. В отраженной волне сжатия на фасаде здания избыточное давление (нагрузка) составит 5,4 кПа (540 кгс/м²) [5]. По длине здания и по его высоте давление практически одно и то же, т. е. около 5,4 кПа, импульс взрывного давления не превышает 700 Па·с.

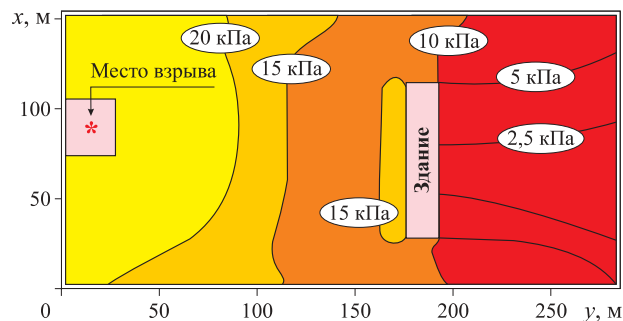


Рис. 3. Изолинии уровней максимального взрывного давления при дефлаграции (план)

При избыточном давлении более 3 кПа и менее 6 кПа здание получает разрушения слабой степени. При этом в основном разрушаются заполнения оконных проемов, а также навесной фасад, если он имеется [3, 6].

Четвертый сценарий. При детонационном взрыве ТВС давление в проходящей воздушной ударной волне на расстоянии порядка 100 м (т. е. там, где начинается стилобатная часть здания) достигает примерно 15 кПа [2] (рис. 4). В отраженной волне оно примерно удвоится. При таких давлениях стилобатная часть здания в основном будет разрушена.

На фасаде высотного здания в отраженной ударной волне избыточное давление достигнет 18,5 кПа и будет распределяться практически равномерно по всему фасаду здания. Здание получит разрушения сильной степени [6]. Однозначно будет разрушен навесной фасад, стекла оконного заполнения. Возможно разрушение стеновых панелей из легких бетонов, мягкой кровли больших площадей, воздухоприемников вентиляции, наружных антенн, повреждение некоторых конструктивных элементов, несущих нагрузку, и ряд других повреждений.

Материальный ущерб, нанесенный зданию, может составить до 60 % сметной стоимости. До 1,5 % людей, находящихся в здании, получают крайне тяжелые травмы, до 7 % — тяжелые и 25 % — средней тяжести. При вскрытии оконных проемов воздушная ударная волна взрыва ТВС проникнет в поме-

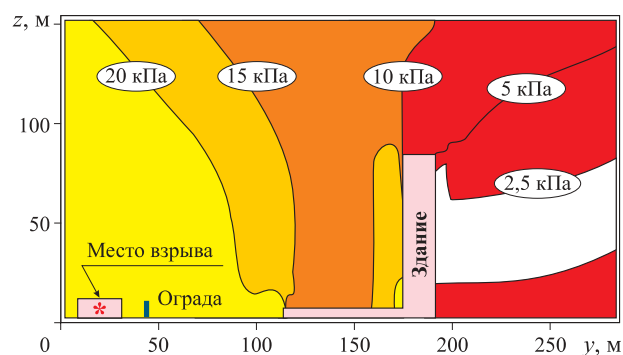


Рис. 4. Изолинии уровней максимального взрывного давления при детонации (вертикальный разрез)

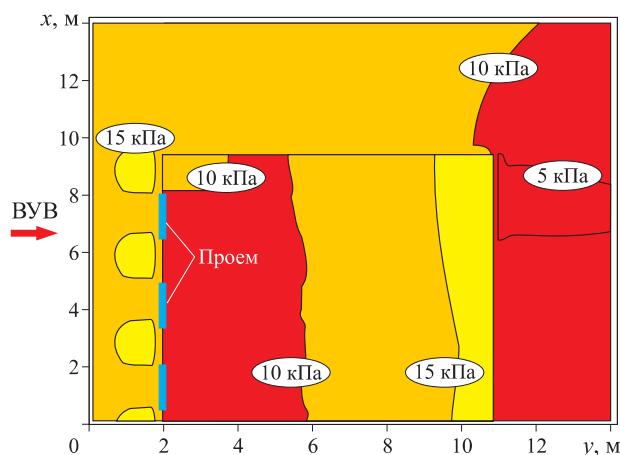


Рис. 5. Изолинии уровней максимального взрывного давления (фрагмент здания)

ещение здания со стороны действия ВУВ. В помещениях, в которых оконные проемы находятся только со стороны действия ВУВ, давление достигнет 15 кПа (рис. 5). Вероятность гибели людей (разрушений средней степени) в этих помещениях достигнет 40 %.

В помещениях, окна которых располагаются и со стороны воздействия ВУВ, и с противоположной стороны, давление будет ниже (~10 кПа). Однако в таких помещениях при вскрытии оконных проемов скорость воздушных потоков достигнет значительных величин (рис. 6).

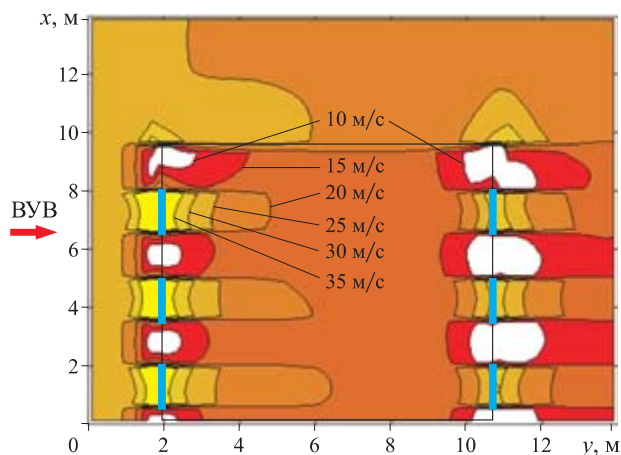


Рис. 6. Изолинии уровней максимальной скорости воздушного потока

Непосредственно у открытых оконных проемов скорость составит 35 м/с (116 км/ч), что больше скорости ураганного ветра (33 м/с). Причем вектор скорости будет направлен как внутрь помещения при положительном избыточном давлении, так и наружу из помещения — при отрицательном давлении и достигнет примерно 15 м/с (54 км/ч).

В заключение отметим, что чрезвычайная ситуация (пожар и тем более взрыв) на АЗС может привести к серьезным последствиям для зданий и людей, находящихся в непосредственной близости от АЗС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одоб. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. Комаров А. А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МГСУ, 2001. — 460 с.
3. ГОСТ Р 12.3.047–98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 01.01.2000 г. — М. : Изд-во стандартов, 1998. — 85 с.
4. 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.
5. Мишуев А. В., Хуснутдинов Д. З. Методика расчета нагрузок на здания и сооружения при воздействии внешних аварийных дефлаграционных взрывов. — М. : МГСУ, 2004.
6. РД 03-409–01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (с изм. и доп.) : постановление Госгортехнадзора РФ от 26.06.2001 г. № 25; введ. 26.06.2001 г. // Сборник документов Госгортехнадзора России, сер. 27, вып. 2. — М. : НТЦ “Промышленная безопасность”, 2001. — 224 с.

Материал поступил в редакцию 8 ноября 2013 г.

English

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF GAS STATIONS

MISHUEV A. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Scientific and Technical Center “Vzryvoustoychivost”, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: mishuev@mail.ru)

KAZENNOV V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor of Hydraulics and Water Resources Department, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

KOMAROV V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor of Hydraulics and Water Resources Department, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

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

GUSAK L. N., Candidate of Technical Sciences, Docent of Hydraulics and Water Resources Department, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

ABSTRACT

The paper is devoted to an important issue of fire and explosion safety in an emergency at gas stations. Such situations are extremely dangerous for both residents and urban development since the increase in vehicles leads to the increase in the number of gas stations. The article deals with all possible emergency scenarios that may cause fire and explosion at gas stations including terroristic attacks which are unfortunately topical nowadays.

Given all scenarios and regulations as well as developments of Scientific and Technical Center “Vzryvoustoychivost” of Moscow State University of Civil Engineering the authors consider damage factors and an aftermath in case of fuel spillage fire, deflagration and detonation explosion of a tank with the fuel mixture.

The isolines of the maximum explosion pressure levels are shown by taking into account the location of various buildings on the way of a deflagration wave as well as detonation shock wave, which is a scientific novelty of the paper.

It is noted that in the situation of external emergency explosion window glass may break, which causes heavy air flows in the rooms of a building. The flow velocity is directed inward in the case of overpressure and outward in the case of underpressure.

Keywords: gas station; emergency blast; fire; excessive pressure; detonation; deflagration.

REFERENCES

1. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. Komarov A. A. *Prognozirovaniye nagruzok ot avariynnykh deflagratsionnykh vzryvov i otsenka posledstviy ikh vozdeystviya na zdaniya i sooruzheniya. Dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Forecasting of emergency deflagration explosion loads and aftermath estimation of their effects on buildings. Dr. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2001. 460 p.
3. *State standard of Russian Federation 12.3.047–98. Occupational safety standards system. Fire safety of technological processes. General requirements. Methods of control*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1998. 85 p. (in Russian).
4. *Set of rules 12.13130.2009. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
5. Mishuev A. V., Khusnutdinov D. Z. *Metodika rascheta nagruzok na zdaniya i sooruzheniya pri vozdeystviy vneshnikh avariynnykh deflagratsionnykh vzryvov* [Load calculation method for buildings in case of external emergency deflagration explosions]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2004.
6. Management document 03-409–01. Technique of an aftermath estimation of accidental fuel-air mixtures explosions. *Collection of documents Gosortekhnadzor of Russia*, series 27, issue 2. Moscow, Scientific and Technical Center “Industrial Safety” Publ., 2001. 224 p.

А. Г. БУБНОВ, д-р хим. наук, доцент, профессор кафедры пожарной техники Учебно-научного комплекса “Пожаротушение” ФГБОУ ВПО Ивановский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 153000, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: bubag@mail.ru)

В. Ю. КУРОЧКИН, канд. техн. наук, преподаватель кафедры пожарной техники Учебно-научного комплекса “Пожаротушение” ФГБОУ ВПО Ивановский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 153000, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: vyk@mail.ru)

Ю. Н. МОИСЕЕВ, начальник кафедры пожарной техники Учебно-научного комплекса “Пожаротушение” ФГБОУ ВПО Ивановский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 153000, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: fireman13@mail.ru)

А. Д. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры пожарной техники Учебно-научного комплекса “Пожаротушение” ФГБОУ ВПО Ивановский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 153000, г. Иваново, просп. Строителей, 33; e-mail: sad8_3@mail.ru)

УДК 614.8.084:614.86:656.08

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКА ДЛЯ ВЫБОРА АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Предложен подход, обеспечивающий рациональный выбор гидравлического аварийно-спасательного инструмента (ГАСИ) в конкретной комплектации для включения его в состав аварийно-спасательного инструмента (в контейнерном исполнении) для ликвидации последствий ДТП. Показано, что для оценки величины техногенного риска можно использовать интегральный показатель — математическое ожидание ущерба в случае отказа ГАСИ. Выявлено, что при выборе той или иной комплектации ГАСИ для определения вероятностей неблагоприятных событий (отказов) можно воспользоваться методом построения и анализа “деревьев отказов” (АДО).

Ключевые слова: техногенный риск; надежность; вероятность отказа; общая польза.

Известно, что отечественные транспортные средства в пять раз опаснее, чем в экономически развитых странах с высоким уровнем автомобилизации и высокой интенсивностью движения. А если учесть, что среднегодовой пробег автомобиля в России намного меньше, то картина становится и вовсе мрачной. По тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий (ДТП) Россия, к сожалению, находится пока на первом месте в мире. Так, на 100 пострадавших в авариях у нас приходится 13 погибших, а на каждые 100 ДТП — 18 погибших [1].

Механизм получения пострадавшими травм и их тяжесть зависят главным образом от вида ДТП, скорости движения транспортного средства и его конструктивных особенностей. А вот время, затрачиваемое на выполнение операций по деблокированию пострадавших для оказания им неотложной медицинской помощи при авариях любого уровня, определяется главным образом квалификацией спасателей и надежностью аварийно-спасательного оборудования.

Анализ результатов спасательных работ показывает, что они зависят от двух основных взаимосвязанных факторов:

- 1) уровня профессиональной подготовки спасателей;

- 2) времени выполнения базовых операций спасения.

Известно, что для тяжело пострадавших в ДТП фактор сокращения интервала времени с момента происшествия до доставки их в лечебное учреждение имеет решающее значение. Если потерпевший будет доставлен в больницу в течение первого часа после получения травмы, то удастся обеспечить самый высокий уровень выживаемости и значительное снижение риска осложнений (именно это время образно называют “золотым часом”).

Пожарно-спасательные подразделения (ПСП) МЧС России очень часто принимают активное участие в ликвидации последствий ДТП и в спасении пострадавших в них. Чтобы максимально использовать правило “золотого часа”, сотрудники ПСП, выполняющие типовые спасательные задачи, тренируются и рационально используют свои возможности, чтобы избежать задержки в деблокировании пострадавших. Профессиональная индивидуальная подготовка спасателей, отработка навыков взаимодействия в команде представляют организационную сторону оптимального выполнения заданий. Уровень квалификации ПСП по многочисленным отзывам чрезвычайно высок, и вероятность ошибок, обуслов-

ленных так называемым человеческим фактором, не превышает ее средней величины для операторов напряженных процессов — 0,0006 [2].

Помимо организационной составляющей операций по деблокированию пострадавших, не менее важную роль играют технические вопросы, связанные собственно с применяемым аварийно-спасательным оборудованием.

A priori время, затрачиваемое на деблокирование пострадавших, определяется техническими характеристиками, состоянием и надежностью применяемого аварийно-спасательного оборудования. Количественной оценкой надежности технических устройств должна служить статистика отказов и рассчитываемый по ее результатам параметр наработки (однако указанные статистические данные получить не представляется возможным, так как они не фиксируются ПСП при выполнении ими тех или иных аварийно-спасательных работ (АСР)).

В качестве основного оборудования, применяемого при выполнении ПСП операций по деблокированию пострадавших в ДТП и при других АСР, можно выделить гидравлический аварийно-спасательный инструмент (ГАСИ).

В настоящее время более 10 отечественных и зарубежных фирм выпускают ГАСИ в различной комплектации [1]. ГАСИ имеет похожую, но все-таки отличающуюся по своим функциональным характеристикам комплектацию, зависящую от фирм-производителей (отечественных и импортных), которых очень много на современном рынке (“Простор”, “Спрут”, “Медведь”, “Эконт”, “Комбитех”, “Holmatro”, “Lukas” и др.).

При определении показателей надежности (результативности) использования ГАСИ рассматривается обычно вероятность того, что [1]:

- 1) в условиях аварийной среды будут реализованы основные этапы за определенное время;
- 2) под влиянием дестабилизирующих факторов образцами ГАСИ будет выполнен требуемый объем их функций;
- 3) при выполнении требуемого объема функций образцы ГАСИ не выйдут из строя;
- 4) будут своевременно реализованы необходимые этапы обеспечения и обслуживания ГАСИ.

Среди недостатков, как правило, влияющих на работу ГАСИ, наиболее часто встречаются следующие:

- а) шланги выполнены из материалов, теряющих эластичность при низких температурах;
- б) места перегибов шлангов в местах крепления их к рукояткам управления слабо защищены, в результате чего образуются заломы и растрескивание оплетки.

Все это приводит к выходу шлангов из строя при попытке создания рабочего давления. Кроме того, резьбовые соединения в местах крепления шлангов и клапанов или рукояток управления часто подтекают, и спасателям приходится возить с собой гаечные ключи для затяжки постоянно ослабевающих резьбовых соединений.

Вследствие вышеизложенного выбор конкретной комплектации ГАСИ лицом, принимающим решение (ЛПР) по комплектованию им ПСП, весьма затруднителен.

Ранее было показано, что для оценки величины техногенного риска при применении того или иного сложного оборудования можно использовать интегральный показатель — математическое ожидание ущерба в случае прекращения выполнения им своих функций [3]. Поэтому и для ГАСИ относительная общая польза W , приносимая объектом (в нашем случае аварийно-спасательным оборудованием в той или иной комплектации), может быть оценена по формуле [3]:

$$W = V / (G + B), \quad (1)$$

где V — величина предотвращенного ущерба, руб., т. е. оценка величины предотвращенного ущерба, который мог быть причинен в случае смертности или травматизма при ликвидации последствий ДТП; $V = U$;

U — ущерб в случае отказа ГАСИ при проведении АСР;

G — затраты на предотвращение и снижение уровня техногенного риска (в первую очередь эксплуатационные затраты на обслуживание ГАСИ), руб.;

B — уровень техногенного риска, руб., который можно интерпретировать как математическое ожидание ущерба от этого риска.

Здесь уровень техногенного риска B в стоимостном выражении (математическое ожидание ущерба) рассчитывается следующим образом:

$$B = QV, \quad (2)$$

где Q — вероятность отказа оборудования при использовании ГАСИ.

Относительная общая польза W , приносимая ГАСИ в той или иной комплектации при спасении одной человеческой жизни, может быть рассчитана при известных данных по затратам G на предотвращение отказов того или иного комплекта (или его элементов). Если же еще знать и реальные вероятности отказа оборудования Q , то можно получить более достоверные данные для сравнения комплектов ГАСИ (причем чем выше величина W , тем более надежен и эффективен (относительно) тот или иной комплект).

При существующей системе учета отказов ГАСИ, в том числе по причине нежелательности огласки (во время ликвидации последствий ДТП), получить статистически достоверные данные по подобным событиям не представляется возможным. Поэтому для выполнения расчетов величины W , а также в случае выбора ГАСИ той или иной комплектации для определения вероятностей неблагоприятных событий (отказов) можно воспользоваться методом построения и анализа “деревьев отказов” (АДО) [4] технологических процессов, как наиболее часто используемым и наглядным. Тем более что он рекомендуется рядом нормативных документов. В частности, в [5] приведен пример построения “дерева отказов”. Для более сложных случаев можно найти примеры в многочисленной технической литературе: в качестве отправной точки можно рекомендовать [2, 6].

Допустимое значение вероятности безотказной работы выбирается в зависимости от степени опасности отказа и определяется нормативными документами [7] и по данным [8] (табл. 1).

Из данных табл. 1 следует, что допустимая вероятность безотказной работы P для ГАСИ должна превышать 0,99. Приближенный расчет P дает величину 0,9938 (следовательно $Q = 0,0062$) [9]. Соответственно, вероятность отказа ГАСИ Q не должна превышать 0,01 (или 1 %).

Исходя из предположения, что наихудшим событием при выполнении аварийно-спасательных работ является временная потеря работоспособности (отказ) ГАСИ и возможное замедление темпа спасательных работ, ущерб от данного отказа U будет зависеть от смертности и тяжести заболеваний, связанных непосредственно с замедлением скорости работ по деблокированию пострадавших. Поскольку стоимость жизни в России на законодательном уровне до сих пор не определена, то для расчета U можно воспользоваться показателем статистической стоимости жизни или данными центра стратегических

исследований компании “Росгосстрах” (“стоимость” человеческой жизни составляет сегодня в России 4,5 млн. руб. по данным сайта <http://www.rgs.ru>). Именно эта цифра принята нами за величину ущерба в случае отказа ГАСИ при ведении АСР.

Тогда математическое ожидание ущерба от одного летального исхода при среднем уровне вероятности отказа ГАСИ при выполнении АСР B в стоимостном выражении (расчет по формуле (2)) составит:

$$B = 0,0062 \cdot 4500000 = 27900 \text{ руб.}$$

Для выполнения технологических операций по деблокированию пострадавших в качестве используемых комплектов ГАСИ нами были рассмотрены следующие образцы:

- “Спрут” (разработчик — ООО “Фирма Спрут”, г. Жуковский Московской обл.);
- “Комбитех” (разработчик — ЗАО “Комбитех-Инкар”, г. Москва);
- “Простор” (разработчик — НПО “Простор”, г. Красноармейск Московской обл.);
- “Медведь” (разработчик — ЗАО “Средства спасения”, г. Москва).

В [1] представлены значения вероятностных величин Q и P , характеризующих эксплуатационную надежность комплектов ГАСИ и вероятность того, что основные этапы выполнения операций по деблокированию пострадавших и обеспечения подготовительных работ (влияние дестабилизирующих факторов не учитывалось) реализованы (табл. 2).

Кроме того, в табл. 2 приведены результаты наших расчетов величины G и сопоставимых затрат на закупку и обслуживание сравниваемых комплектов ГАСИ (в пересчете на 1 год) по данным учебной пожарной части Ивановского института ГПС МЧС России. Здесь же представлены и результаты расчета вероятностной величины общей пользы при применении различных комплектов ГАСИ, а также математических ожиданий ущерба в случае вероятного отказа оборудования.

Таблица 1. Классификация изделий (технических средств) по последствиям отказа

Последствия отказа		Допустимая вероятность безотказной работы P	Тип технических средств
Катастрофические	Авария, катастрофа, невыполнение ответственного задания	$P \rightarrow 1$	Летательные аппараты, подъемно-транспортные машины, военная техника, машины химического производства, медицинское оборудование
Экономический ущерб	Повышенные простои в ремонте Работа на пониженных режимах. Работа с худшими параметрами	Значительный ущерб $P \geq 0,99$ Незначительный ущерб $P \geq 0,9$	Технологическое оборудование, сельскохозяйственные машины, бытовые машины
Без последствий	Затраты на ремонт в пределах нормы	$P < 0,9$	Отдельные узлы и элементы машин

Таблица 2. Пример использования показателей риска для выбора аварийно-спасательного оборудования

Показатель	Значение показателя для комплекта ГАСИ			
	Спрут	Комбитех	Простор	Медведь
Q	0,0099	0,0028	0,0132	0,0241
P	0,9901	0,9972	0,9868	0,9759
B , руб.	44550	12600	59400	108450
G , руб.	59668	65366	60291	59578
Сопоставимые затраты, руб.	153664	169420	155389	153417
W	43,0	57,7	37,5	26,7

Из данных табл. 2 следует, что ЛПР не должен принимать к рассмотрению варианты закупки комплектов ГАСИ “Простор” и “Медведь” без доведе-

ния их показателей безотказности до допустимого уровня. И хотя комплект “Спрут” на 16 % дешевле комплекта “Комбитех” [1], очевидно, что величина математического ожидания ущерба для последнего в 3,5 раза (на 71 %) ниже (см. табл. 2), а вот общая польза W выше, чем для всех остальных комплектов. Следовательно, из сравниваемых вариантов закупка комплекта “Комбитех” представляется предпочтительной.

Таким образом, предложенный подход к оценке надежности ГАСИ с использованием показателей риска может дополнять представляемые фирмами-производителями результаты сертификационных испытаний для принятия управленческих решений по включению или невключению в стандартный комплект аварийно-спасательного инструмента, используемого ПСП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочные материалы для преподавателей и слушателей учебно-тренировочных комплексов МЧС России по подготовке спасателей к действиям при ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий. — М. : ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. — 81 с.
2. Химмельблау Д. Обнаружение и диагностика неполадок в химических и нефтехимических процессах / Пер. с англ.; под ред. Ю. М. Левина. — Л. : Химия, 1983. — 352 с.
3. Бубнов А. Г., Гриневич В. И., Гуцин А. А., Пластинина Н. А. Методология выбора способа очистки воды от органических соединений с использованием параметров экологического риска // Известия вузов. Серия: Химия и химическая технология. — 2007. — Т. 50, вып. 8. — С. 89–93.
4. Тарасова Н. П., Анохина Н. П., Малков А. В. и др. К вопросу об оценке потенциальной опасности химико-технологического объекта // Химическая промышленность. — 1994. — № 6. — С. 20–24.
5. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов : постановление Госгортехнадзора России от 10.07.2001 г. № 30; введ. 01.09.2001 г. — М. : НТЦ “Промышленная безопасность”, 2002.
6. Алымов В. Т., Тарасова Н. П. Техногенный риск. Анализ и оценка : учебное пособие для вузов. — М. : ИКЦ “Академкнига”, 2004. — 118 с.
7. ГОСТ Р 22.9.01-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Аварийно-спасательный инструмент и оборудование. Общие технические требования. — Введ. 01.01.96 г. — М. : Изд-во стандартов, 1995.
8. Пронин А. С. Надежность машин. — М. : Машиностроение, 1978. — 592 с.
9. Бубнов А. Г., Курочкин В. Ю., Моисеев Ю. Н. Оценка параметров риска как критериев для обоснования выбора аварийно-спасательного оборудования // Пожарная и аварийная безопасность : матер. VI Межд. науч.-практ. конф., посвященной 45-летию Ивановского института ГПС МЧС России. Иваново, 28–30 ноября 2011 г. : в 2 ч. / Под общ. ред. И. А. Малого. — Иваново : ИВИ ГПС МЧС России, 2011. — Ч. 1. — С. 21–24.

Материал поступил в редакцию 25 октября 2013 г.

English

RISK AND RELIABILITY CRITERIA FOR SELECTING FIRE-FIGHTING RESCUE EQUIPMENTS

BUBNOV A. G., Doctor of Chemical Sciences, Docent, Professor of Department of Fire Fighting Equipment, Educational and Scientific Complex “Firefighting”, Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education Ivanovo State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153000, Russian Federation; e-mail: bubag@mail.ru)

KUROCHKIN V. Yu., Candidate of Technical Sciences, Lecturer of Department of Fire Fighting Equipment, Educational and Scientific Complex "Firefighting", Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education Ivanovo State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153000, Russian Federation; e-mail: vyk_@mail.ru)

MOISEEV Yu. N., Head of Department of Fire Fighting Equipment, Educational and Scientific Complex "Firefighting", Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education Ivanovo State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153000, Russian Federation; e-mail: fireman13@mail.ru)

SEMENOV A. D., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Fire Fighting Equipment, Educational and Scientific Complex "Firefighting", Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education Ivanovo State Fire Service Institute of Emercom of Russia (Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo, 153000, Russian Federation; e-mail: sad8_3@mail.ru)

ABSTRACT

Hydraulic survival instrument (HSI) can be used as the main equipment used for operations on unblocking casualties when wrecking and fire-rescue units (FRU) works. Currently, more than ten domestic and foreign firms produce various sets of HSI with different functional characteristics. Selection of a particular set HSI by decision maker on completing their FRU is very difficult.

Previously, it was shown that for estimation the level of technical risk when using this or that sophisticated equipment can be used the integrated index — the expectation of damage from termination of his work and, further, relative overall benefit indicator (in this case, brought by a set extinguish), which may be estimated by the formula:

$$W = V/(G + B),$$

where V — the value of avoided damage, rub., estimate of the value of avoided damage from mortality and injuries during the liquidation aftermath of accidents; $V = Y$; Y — damage caused by a fault HSI (during wrecking); G — the cost on preventing and reducing technical risk (primarily operating costs for attendance of HSI), rub.; B — level of technogenic risk, rub., which can be interpreted as the expectation of damage from individual risk.

Here, the level of technogenic risk B in terms of value (the expectation of damage) is calculated as follows:

$$B = QY,$$

where Q — the probability of failure HSI.

The higher the value of W , the more reliable and efficient (relatively) set.

Statistically reliable performance data on failures HSI in relevant system of accounting such events cannot be received.

Therefore, realization calculations of value W , as well as in cases of choosing a particular set HSI when determining the probability of adverse events (failures), the method of constructing and analyzing "fault trees" (AFT) process can be used — as the most commonly used and intuitive.

On the assumption that the worst event during the wrecking is a temporary loss of performance (failure) HSI and probable slowdown at rescue operations, the damage from failure Y depends on mortality and severity of disease associated exactly with slowdown on unblocking (at a cost life in Russia 4.5 mln. rub.).

We examined samples sets of HSI — "Prostor", "Sprut", "Medved", "Kombitech" for performing operations on unblocking and rescue of victims.

The calculation results show that the decision-makers should not take to consider options for purchasing sets HSI "Prostor" and "Medved" without bringing their reliability indexes to an acceptable level. And although the set "Sprut" is cheaper (16 %) the set "Kombitech", the value of expectation of damage is lower (on 71 % or 3.5 times) at last one, but the overall benefits W is higher than another sets. Therefore, the option of purchasing the set "Kombitech" seems preferable.

The proposed approach to reliability evaluation of HSI using risk indicators and overall benefits for selecting particular set, can be added with results of certification tests by manufacturers — for management decisions to include/not include in the standard package of HSI used by fire-rescue units.

Keywords: technogenic risk; reliability; probability of failure; total benefit.

REFERENCES

1. *Spravochnyye materialy dlya prepodavateley i slushateley uchebno-trenirovochnykh kompleksov MChS Rossii po podgotovke spasateley k deystviyam pri likvidatsii posledstviy dorozhno-transportnykh proisshestviy* [Reference materials for teachers and students of the training complexes Russian Emergencies Ministry rescuers training for action in the aftermath of road traffic accidents]. Moscow, Federal Institute of Civil Defense (FO) Publ., 2011. 81 p.
2. David M. Himmelblau. *Fault detection and diagnosis in chemical and petrochemical processes*. Amsterdam, New York, Elsevier Scientific Pub. Co.; New York, Distributors for the US and Canada, Elsevier North-Holland, 1978. 424 p. (Russ. ed.: Himmelblau D. *Obnaruzheniye i diagnostika nepoladok v khimicheskikh i neftekhimicheskikh protsessakh*. Leningrad, Khimiya Publ., 1983. 352 p.)
3. Bubnov A. G., Grinevich V. I., Gushchin A. A., Platinina N. A. Metodologiya vybora sposoba ochistki vody ot organicheskikh soedineniy s ispolzovaniyem parametrov ekologicheskogo riska [Methodology selection method of water purification from organic compounds using parameters environmental risk]. *Izvestiya vuzov. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya — Izvestia of Higher Schools. Series: Chemistry and Chemical Technology*, 2007, vol. 50, no. 8, pp. 89–93.
4. Tarasova N. P., Anokhina N. P., Malkov A. V. (eds.). K voprosu ob otsenke potentsialnoy opasnosti khimiko-tekhnologicheskogo obyektu [On the estimation of the potential danger of chemical-processing facility]. *Khimicheskaya promyshlennost — Chemical Industry*, 1994, no. 6, pp. 20–24.
5. *Management Document 03-418-01. Methodological guidelines for risk analysis of hazardous production facilities*. Moscow, NTTs Promyshlennaya bezopasnost Publ., 2001. 18 p. (in Russian).
6. Alymov V. T., Tarasova N. P. *Tekhnogennyy risk. Analiz i otsenka. Uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Technogenic risk. Analysis and Evaluation. A manual for schools]. Moscow, Akademkniga Publ., 2004. 118 p.
7. *State Standard of Russian Federation 22.9.01–95. Safety in emergencies. Rescue tools and equipment. General technical requirements*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1995. 12 p. (in Russian).
8. Pronin A. S. *Nadezhnost mashin* [Reliability of machines]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1978. 592 p.
9. Bubnov A. G., Kurochkin V. Yu., Moiseev Yu. N. Otsenka parametrov riska kak kriteriyev dlya obosnovaniya vybora avariynno-spasatel'nogo oborudovaniya [Evaluation of the risk parameters as criteria to justify the selection of rescue equipment]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost: mater. VI Mezhd. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 45-letiyu Ivanovskogo instituta GPS MChS Rossii* [Fire and Emergency Safety: VI Int. Scientific-practical. conf. dedicated to the 45th anniversary of Ivanovo State Fire Service Institute of Emercom of Russia]. Ivanovo, 2011, part 1, pp. 21–24.

Из пожарно-технического энциклопедического словаря

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ НОЖНИЦЫ — инструмент, с помощью которого можно резать элементы конструкций посредством двух ножей, приводимых в действие гидроцилиндром.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ДОМКРАТ — грузоподъемное управляемое гидроустройство, состоящее из гидроцилиндра одностороннего или двухстороннего действия и насоса или гидроагрегата.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАЗЖИМ — инструмент, с помощью которого можно раздвинуть или стянуть элементы конструкций посредством рычагов, приводимых в действие гидроцилиндром.

ГИДРОУСКОРИТЕЛЬ — устройство, обеспечивающее уменьшение времени срабатывания дренчерного сигнального клапана с гидроприводом.

Е. И. КАЙБИЧЕВА, специалист 1-го разряда, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Свердловской обл. "Свердловскстат" (Россия, 620041, г. Екатеринбург, ул. Толмачева, 23)

И. А. КАЙБИЧЕВ, д-р физ.-мат. наук, профессор, кафедра математики и информатики, Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22; e-mail: Kaibitchev@mail.ru)

УДК 519.25;614.84.31

ИНДЕКС СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ СВОБОДНОГО ГОРЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА 2006–2010 ГОДЫ

Показано, что одной из проблем в области статистики пожаров является отсутствие индексов, показывающих пожарную обстановку, характеризуемую средним временем свободного горения, на территории Российской Федерации и аналогичных индексу Доу-Джонса, используемому в экономике и на фондовом рынке для оценки их состояния. Выполнен расчет индекса среднего времени свободного горения в Российской Федерации за 2006–2010 гг. на основе подхода Доу-Джонса. Выделены наиболее проблемные регионы и регионы с кризисной обстановкой.

Ключевые слова: статистика пожаров; индекс Доу-Джонса; среднее время свободного горения.

Одной из проблем в области пожарной статистики является категорирование регионов Российской Федерации по среднему времени свободного горения [1]. Этот показатель позволяет сравнить пожарную обстановку в регионах, а общее время свободного горения на территории РФ [1] служит основой для количественной оценки ситуации с пожарами в целом. Полезность и необходимость данного показателя не вызывает сомнений. Вместе с тем на сегодняшний день затруднено выделение наиболее проблемных регионов, так как нет четкого критерия их определения.

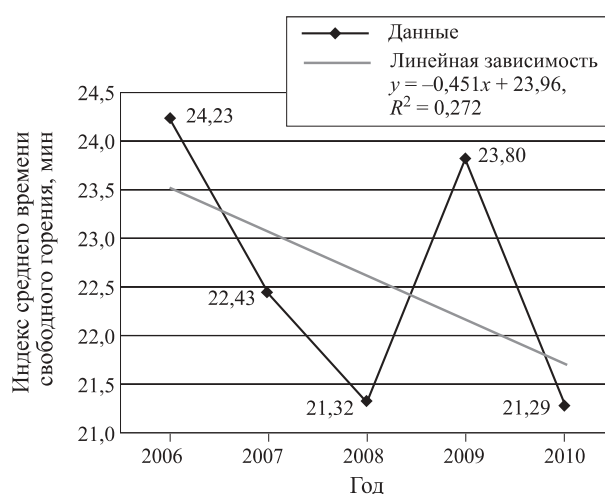
Проблема определения наиболее проблемных регионов может быть решена с помощью метода Доу-Джонса, широко применяемого для оценки состояния экономики и финансового рынка [2–4].

Возможность использования индексов пожарной опасности, рассчитанных по методу Доу-Джонса, была показана в работах [5–9]. Согласно методике расчета индексов пожарной опасности, которая достаточно проста [5–9], субъекты РФ выступают в качестве аналога промышленных корпораций. На первом этапе субъекты РФ ранжируются по интересующему нас показателю (среднему времени свободного горения) в порядке убывания значений. Далее отбираются 30 субъектов РФ с максимальными значениями данного показателя, которые и формируют листинг расчета индекса. Индекс пожарной обстановки (среднего времени свободного горения) рассчитывается как среднее показателей для регионов, попавших в листинг. Заметим, что индекс среднего времени свободного горения за 2006–2010 гг. имел понижающий тренд (см. рисунок).

В листингах (табл. 1–4) можно выделить критическую группу регионов, для которых среднее время свободного горения превышает значение данного индекса. Состав этой группы изменчив.

В критическую группу 2006 г. попали регионы (см. табл. 1): Чеченская Республика; Рязанская, Тамбовская, Ленинградская, Саратовская, Орловская области; Республики Дагестан, Адыгея; Пензенская, Тверская, Московская области; Республика Мордовия.

В 2007 г. список критических регионов был таков (см. табл. 2): Республики Дагестан, Чеченская; Ленинградская, Орловская, Рязанская, Тверская,



Динамика индекса среднего времени свободного горения: $y = -0,451x + 23,96$ — уравнение линейного тренда (y — значение индекса; x — порядковый номер года: 1 — 2006 г., 2 — 2007 г. и т. д.; R — коэффициент детерминации)

Таблица 1. Листинг расчета индекса среднего времени свободного горения за 2006 г.

Место	Регион	Среднее время свободного горения, мин
1	Чеченская Республика	33,08
2	Рязанская область	28,08
3	Тамбовская область	28,03
4	Ленинградская область	27,61
5	Саратовская область	26,90
6	Орловская область	26,85
7	Республика Дагестан	26,83
8	Республика Адыгея	26,56
9	Пензенская область	25,14
10	Тверская область	25,09
11	Московская область	25,05
12	Республика Мордовия	25,03
13	Карачаево-Черкесская Республика	23,94
14	Курская область	23,82
15	Смоленская область	23,81
16	Волгоградская область	23,36
17	Белгородская область	23,27
18	Костромская область	23,17
19	Липецкая область	22,99
20	Псковская область	22,89
21	Брянская область	22,88
22	Ростовская область	22,06
23	Республика Башкортостан	22,03
24	Воронежская область	21,91
25	Республика Алтай	21,36
26	Вологодская область	21,28
27	Ненецкий автономный округ	21,20
28	Ставропольский край	21,03
29	Калужская область	20,94
30	Челябинская область	20,82
Индекс среднего времени свободного горения, мин		24,23
Примечание. Жирным шрифтом выделены кризисные регионы.		

Московская, Тамбовская, Саратовская, Ростовская, Волгоградская области.

В критическую группу в 2008 г. вошли (см. табл. 2): Республики Дагестан, Чеченская; Тамбовская обл.; Карачаево-Черкесская Республика; Московская, Костромская, Орловская, Еврейская автономная, Псковская области.

В критическую группу 2009 г. попали регионы (см. табл. 2): Кемеровская обл.; Республика Алтай; Костромская обл.; Республика Дагестан, Чеченская Республика, Ингушетия; Красноярский кр.

Таблица 2. Места регионов в листингах расчета индекса среднего времени свободного горения за 2006–2010 гг.

Номер	Регион	Место региона в листинге				
		2006	2007	2008	2009	2010
Центральный федеральный округ						
1	Белгородская область	17	21	21	29	14
2	Брянская область	21	17	15	25	6
3	Воронежская область	24	19	13	24	20
4	Калужская область	29		27	15	
5	Костромская область	18	12	6	3	2
6	Курская область	14	13	24		12
7	Липецкая область	19	25	12	23	25
8	Московская область	11	7	5	18	18
9	Орловская область	6	4	7	20	22
10	Рязанская область	2	5	14		13
11	Смоленская область	15	16	11		
12	Тамбовская область	3	8	3	16	19
13	Тверская область	10	6	26	30	27
Северо-Западный федеральный округ						
14	Республика Карелия				26	
15	Вологодская область	26				26
16	Калининградская область				19	
17	Ленинградская область	4	3	22	12	10
18	Новгородская область				21	30
19	Псковская область	20	18	9	14	21
Южный федеральный округ						
20	Республика Адыгея	8	24	10	11	
21	Республика Калмыкия		20		22	24
22	Волгоградская область	16	11	29	10	16
23	Ростовская область	22	10	20		
Северо-Кавказский федеральный округ						
24	Республика Дагестан	7	1	1	4	1
25	Республика Ингушетия				6	4
26	Кабардино-Балкарская Республика			30	8	9
27	Карачаево-Черкесская Республика	13	22	4		
28	Республика Северная Осетия-Алания				27	3
29	Чеченская Республика	1	2	2	5	
30	Ставропольский край	28			13	8

Окончание табл. 2

Номер	Регион	Место региона в листинге				
		2006	2007	2008	2009	2010
Приволжский федеральный округ						
31	Республика Башкортостан	23	15	19		
32	Республика Мордовия	12	14			
33	Чувашская Республика		30			
34	Пензенская область	9	27	17		
35	Самарская область		23	18	17	15
36	Саратовская область	5	9	16		
37	Ульяновская область			28	9	
Уральский федеральный округ						
38	Челябинская область	30				
Сибирский федеральный округ						
39	Республика Алтай	25	26	25	2	5
40	Республика Тыва		29			11
41	Красноярский край				7	7
42	Кемеровская область			23	1	
43	Омская область				28	
44	Томская область					28
Дальневосточный федеральный округ						
45	Еврейская автономная область		28	8		17

Примечание. Жирным шрифтом выделены регионы, попавшие в данный год в состав кризисной группы.

В 2010 г. критическая ситуация сложилась в следующих регионах (см. табл. 2): Республика Дагестан; Костромская обл.; Республики Северная Осетия–Алания, Ингушетия, Алтай; Брянская обл.; Красноярский, Ставропольский края; Кабардино-Балкарская Республика; Ленинградская обл.; Республика Тыва; Курская обл.

Целесообразность выделения в листинг 30 регионов подтверждается расчетом доли попавших в него субъектов в суммарном времени свободного горения. В 2006 г. эта доля составила 45,23 %, в 2007 г. — 44,82 %, в 2008 г. — 44,42 %, в 2009 г. — 46,91 %, а в 2010 г. — 45,74 %. Поэтому выборка 30 субъектов РФ для формирования листинга расчета представляется достаточно репрезентативной.

Аналогичная ситуация возникает с выделением кризисной группы. В 2006 г. доля кризисных регионов в суммарном времени свободного горения для субъектов РФ, попавших в листинг, составила 44,60 %, в 2007 г. — 40,22 %, в 2008 г. — 33,20 %, в 2009 г. — 31,69 %, в 2010 г. — 45,48 %. Следует

Таблица 3. Частота попадания регионов РФ в листинг расчета индекса среднего времени свободного горения за 2006–2010 гг.

Категория	Регионы	Частота
6	Белгородская, Брянская, Воронежская, Костромская, Липецкая, Московская, Орловская, Тамбовская, Тверская области (ЦФО); Ленинградская, Псковская области (СЗФО); Волгоградская область (ЮФО); Республика Дагестан (СКФО); Республика Алтай (СФО)	0,033
5	Курская, Рязанская области (ЦФО); Республика Адыгея (ЮФО); Чеченская Республика (СКФО); Самарская область (ПФО)	0,027
4	Калужская, Смоленская области (ЦФО); Республика Калмыкия, Ростовская область (ЮФО); Кабардино-Балкарская, Карачаево-Черкесская Республики, Ставропольский край (СКФО); Республика Башкортостан, Пензенская, Саратовская области (ПФО); Еврейская автономная область (ДФО)	0,020
3	Вологодская, Новгородская области (СЗФО); Республики Ингушетия, Северная Осетия–Алания (СКФО); Республика Мордовия, Ульяновская область (ПФО); Республика Тыва, Красноярский край, Кемеровская область (СФО)	0,013
2	Республика Карелия, Калининградская область (СЗФО); Чувашская Республика (ПФО); Челябинская область (УрФО); Омская, Томская области (СФО)	0,007
1	Все остальные регионы РФ, не попавшие в категории 6–2	0

Таблица 4. Частота попадания регионов в кризисную группу за 2006–2010 гг.

Категория	Регионы	Частота
6	Республика Дагестан (СКФО)	0,098
5	Чеченская Республика (СКФО)	0,078
4	Костромская, Московская, Орловская, Тамбовская области (ЦФО); Ленинградская область (СЗФО)	0,059
3	Рязанская, Тверская области (ЦФО); Республика Ингушетия (СКФО); Саратовская область (ПФО); Республика Алтай, Красноярский край (СФО)	0,039
2	Брянская, Курская области (ЦФО); Псковская область (СЗФО); Республика Адыгея, Волгоградская, Ростовская области (ЮФО); Кабардино-Балкарская, Карачаево-Черкесская Республики, Республика Северная Осетия–Алания, Ставропольский край (СКФО); Республика Мордовия, Пензенская область (ПФО); Республика Тыва, Кемеровская область (СФО); Еврейская автономная область (ДФО)	0,020
1	Все остальные регионы РФ, не попавшие в категории 6–2	0

отметить заметный вклад кризисных регионов в суммарное время свободного горения по Российской Федерации, а именно: 20,17 % — 2006 г., 18,02 % — 2007 г., 14,75 % — 2008 г., 14,87 % — 2009 г., 20,80 % — 2010 г.

Анализ мест, которые занимают регионы в листингах расчета индекса числа пожаров (см. табл. 2), показывает наличие шести групп регионов (см. табл. 3). В состав первой группы входят регионы, которые за 2006–2010 гг. не попали в листинг ни разу; второй — регионы, попавшие в листинг только 1 раз; третьей — 2 раза; четвертой — 3 раза; пятой — 4 раза; шестой — 5 раз (т. е. регионы этой группы присутствовали в составе листинга в течение 5 лет).

Кроме того, можно определить частоту попадания региона в кризисную группу (см. табл. 4). При этом также выделено шесть групп регионов. В первой группе находятся регионы, ни разу не попавшие в состав кризисной группы, во второй — попавшие в нее 1 раз; в третьей — 2 раза; в четвертой — 3 раза; в пятой — 4 раза, в шестой — 5 раз.

Систематическое присутствие ряда регионов в составе кризисной группы в течение 2006–2010 гг. свидетельствует о необходимости поиска для них новых управленческих решений.

В итоге рассчитан индекс среднего времени свободного горения на территории Российской Федерации за 2006–2010 гг. Для каждого года выделены 30 регионов с максимальным материальным ущербом, вошедшие в листинг расчета индекса. Для каждого года определен также состав кризисной группы, для которой требуется применение неотложных мер. Вычислена частота попадания регионов в листинг и в состав кризисной группы. В результате определены группы регионов, систематически попадающие в листинг расчета индекса и в состав кризисной группы.

Индекс среднего времени свободного горения может быть использован для обоснования мер пожарной профилактики и управленческих решений, аналогично индексу Доу-Джонса, широко применяемому в области экономики и финансов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2010 году : статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. — М. : ВНИИПО, 2011. — 140 с.
2. Sullivan A., Sheffrin S. M. Economics: Principles in action. — New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2003. — P. 290.
3. Anderson B. Economics and the public welfare: A financial and economic history of the United States, 1914–1946. — New York: Liberty Press, 1979. — P. 219.
4. Индекс Доу-Джонса: история появления и методика расчета. URL : <http://www.ereport.ru/articles/indexes/dowjones.htm> (дата обращения: 18.01.2013 г.).
5. Кайбичев И. А. Аналоги индекса Доу-Джонса в статистике пожаров // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации : V Всерос. науч.-практ. конф. (26 октября 2011 г.). — Екатеринбург : УрИ ГПС МЧС России, 2011. — Ч. 1. — С. 104–109.
6. Кайбичев И. А. Подход Доу-Джонса в статистике пожаров // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: теория и практика : матер. II Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. Р. Н. Минниханова. — Казань : ГУ “Научный центр безопасности жизнедеятельности детей”, 2012. — Ч. II. — С. 639–646.
7. Кайбичев И. А. Индекс возгораний // Безопасность критичных инфраструктур и территорий : матер. V Всерос. конф. и XV Школы молодых ученых. — Екатеринбург : УрО РАН, Изд-во АМБ, 2012. — С. 124–125.
8. Кайбичев И. А. Индекс возгораний в рамках подхода Доу-Джонса // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института : тез. докл. — М. : ВНИИПО, 2012. — Ч. 3. — С. 199–202.
9. Кайбичев И. А., Орлов С. А. Индексы пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 6. — С. 50–54.

Материал поступил в редакцию 24 июня 2013 г.

English

INDEX OF THE AVERAGE TIME FREE FIRES IN RUSSIAN FEDERATION FOR 2006–2010 YEARS

KAIBICHEVA E. I., First Grade Specialist, Federal Service Government Statistics in Sverdlovsk District “Sverdlovskstat” (Tolmacheva St., 23, Yekaterinburg, 620041, Russian Federation)

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

ABSTRACT

The free combustion average time is the important indicator of fire danger in the region of the Russian Federation. There are no clear criteria for allocation of the most problematic regions, making it difficult to make informed management decisions. This problem can be solved using the Dow Jones method. Dow Jones is a recognized indicator of the economy and the stock market. The article prompted the index of free combustion average time based on the Dow Jones approach. In the scheme of calculating the index of free combustion average time Dow Jones method role of industrial corporations played by members of the Russian Federation. After adjusting for the subjects of free combustion average time in the order of decrease we select 30 regions to the maximum time. These regions form listing the index calculation. Index of free combustion average time is the average of these regions, who are in the listing. The regions where the of free combustion average time is above the index, form crisis group. In the paper, the calculation of the index of free combustion average time in the Russian Federation for the years 2006–2010, are highlighted regions, trapped in the listing, as well as identify areas with a crisis situation. The proposed index of free combustion average time can be a basis for management and personnel decisions, similar to how the Dow Jones is used in economics and finance.

Keywords: fire statistics; Dow Jones Average; free combustion average time.

REFERENCES

1. Klimkin V. I. (ed.). Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2010 godu: Statisticheskiy sbornik [Fires and fire safety in 2010: Statistical yearbook]. Moscow, All-Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2011. 140 p.
2. Sullivan A., Sheffrin S. M. *Economics: Principles in action*. New Jersey, Pearson Prentice Hall Publ., 2003, p. 290.
3. Anderson B. *Economics and the public welfare: A financial and economic history of the United States, 1914–1946*. New York, Liberty Press, 1979, p. 219.
4. Dow Jones Industrial Index. Available at: <http://www.ereport.ru/articles/indexes/dowjones.htm> (Accessed 18 January 2013).
5. Kaibichev I. A. Analogi indeksa Dou-Dzhonsa v statistike pozharov [Analogues of the Dow Jones Fire Statistics]. *Aktualnyye problemy obespecheniya bezopasnosti v Rossiyskoy Federatsii. V Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Actual problems of safety provision in the Russian Federation. V All-Russian Scientific Conference, 26 October 2011]. Yekaterinburg, Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia Publ., 2011, part 1, pp. 104–109.
6. Kaibichev I. A. Podkhod Dou-Dzhonsa v statistike pozharov [Dow Jones approach in statistics of fires]. *Sovremennyye problemy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: teoriya i praktika* [Modern problems of personal and social safety: theory and practice]. Collection of materials of II International Scientific and Practical Conference. Minnikhanov R. N. (ed.). Kazan, Public Office “Scientific Centre of children’s personal and social safety”, 2012, part II, pp. 639–646.
7. Kaibichev I. A. Indeks vozgoraniy [Index fires]. *Bezopasnost kriticheskikh infrastruktur i territoriy: mater. V Vseros. konf. i XV Shkoly molodykh uchenykh* [Safety of critical infrastructures and territories. Proceeding of V All-Russian Science and Technology Conference and XV School of Young Scientists Seminar]. Yekaterinburg, Urals Branch Russian Academy of Sciences, Public House AMB, 2012, pp. 124–125.
8. Kaibichev I. A. Indeks vozgoraniy v ramkakh podkhoda Dou-Dzhonsa [Index fires in an approach Dow Jones]. *XXIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya po problemam pozharnoy bezopasnosti, posvyashchennaya 75-letiyu sozdaniya instituta : tez. dokl.* [Abstracts of XXIV International scientific-practical conference on fire safety, dedicated to the 75th anniversary of the institute]. Moscow, All-Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2012, part 3, pp. 199–202.
9. Kaibichev I. A., Orlov S. A. Indeksy pozharnoy opasnosti [Fireman danger indexes]. *Pozharovzryvo-bezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 6, pp. 50–54.

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



ЗАО “Инженерный центр “ЭФЭР” пожарной робототехники

185031, г. Петрозаводск, ул. Заводская, д. 4
Тел./факс: (8142) 77-49-31, 57-34-23
e-mail: marketing@firerobots.ru; www.firerobots.ru



ПОЖАРНАЯ КОМАНДА ХХІ ВЕКА

Пожар на объекте — и по сигналу “Тревога” производится выезд караула пожарной части к месту пожара, где после проведения разведки, спасения людей и имущества осуществляется боевое развертывание и тушение пожара. В соответствии с боевым уставом пожарной охраны руководитель тушения пожара (РТП) обязан максимально использовать установки пожаротушения на объекте. Для этой цели в соответствии с установленными требованиями на пожароопасных объектах предусматривается пожарный водопровод с сетью пожарных кранов. Более значительную часть ресурса огнетушащих средств на объекте составляют автоматические установки пожаротушения (АУП). Однако традиционные АУП, к которым относятся наиболее распространенные

спринклерные системы, не приспособлены для оперативного управления во время пожара, ведь спринклер дистанционно невозможно ни включить, ни отключить.

С применением для защиты объектов пожарных роботов, оснащенных современной ствольной техникой, которую используют сами огнеборцы, появляются совершенно новые возможности организации пожаротушения, основанные на взаимодействии людей и техники в системе человек — машина. Действительно, уже сейчас на целом ряде объектов*

* Горбань Ю. И. Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. — М.: Пожнаука, 2013.

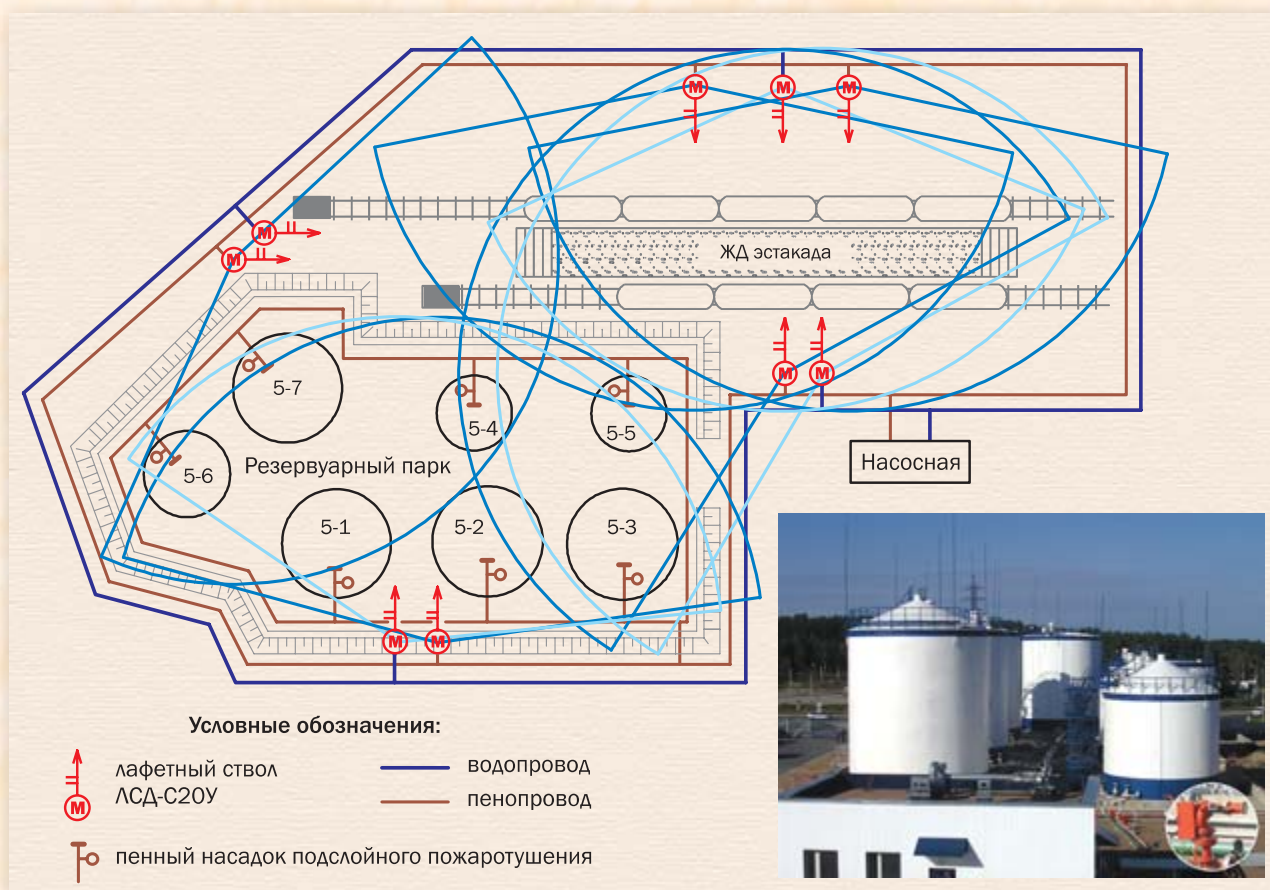


Рис. 1. План-схема защиты склада нефтепродуктов ТНК-ВР “Карелиянефтепродукт” пожарными роботами

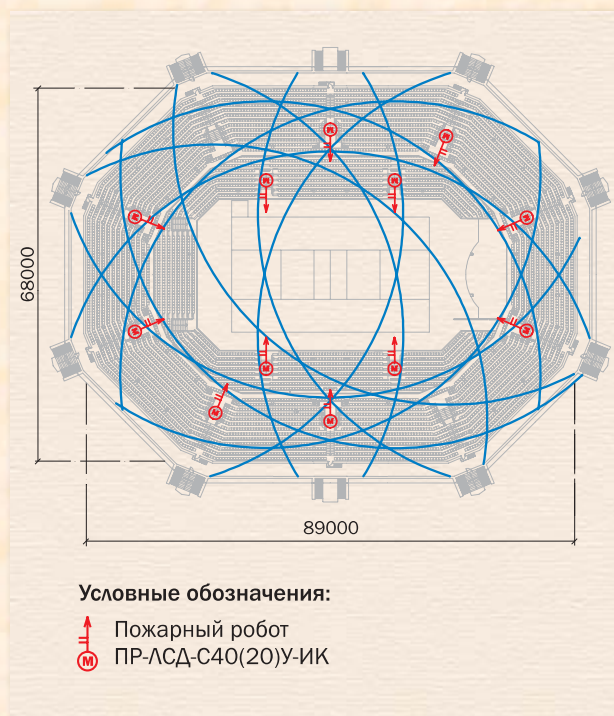


Рис. 2. План-схема защиты дворца спорта “Янтарный” пожарными роботами

применяются роботизированные установки пожаротушения (РУП), развернуты и находятся в постоянной готовности боевые посты с мощными лафетными стволами — пожарные роботы (ПР). Они подключены к системе водоснабжения и при пожаре работают в автоматическом режиме, а по прибытии пожарной команды поступают в ее полное распоряжение и могут немедленно использоваться для оперативных действий по тушению пожара. Планы-схемы защиты объектов с использованием ПР приведены на рис. 1 и 2.

Управление ПР организуется через центральный пульт управления (ЦПУ), который находится в пункте дежурного персонала (рис. 3). РТП может взять на себя управление всей командой пожарных роботов с ЦПУ, переведя систему в дистанционный режим и контролируя ситуацию по развитию пожара по видеoinформации, получаемой с объекта от телекамер в видео- и ИК-диапазоне, установленных на пожарных роботах. Для подачи команды нужно только набрать на пульте дистанционного управления (ПДУ) (рис. 4) номер лафетного ствола и функциональную команду. Управление может производиться непосредственно на объекте в зоне пожаротушения. При этом удобно пользоваться радиопультом и отдавать распоряжение-команду конкретному ПР по личному номеру, обозначенному на его корпусе. Пожарный робот в данном назначении, по сути, уже член пожарной команды.



Рис. 3. Функциональная схема управления пожарными роботами

ПДУ дает возможность:

- выбрать ПР для управления;
- навести струи на цель командами “Вправо”, “Влево”, “Вверх”, “Вниз”;
- открыть/закрыть дисковый затвор;
- изменить угол факела струи командами “Шире”, “Уже”;
- задать скорость наведения струи;
- задать программу пожаротушения по площади с определенным шагом сканирования (автоматизированный режим).

На рис. 5 представлен один из последних выпусков стационарных ПР. Благодаря дизайну он приобрел андроидные черты, подчеркивающие сближение его с человеком в системе человек — машина. В его головной части встроен интеллектуальный детектор пламени, работающий как в видимом, так и в ИК-диапазоне, и, по сути, кибернетический центр



Рис. 4. Пульт ПДУ-П

с системой обработки информации для идентификации загорания и определения координат и площади загорания.

Рабочим органом ПР является лафетный ствол (ствол-автомат), который автоматически поддерживает давление при расходах от 8 до 80 л/с, обеспечивая оптимальные параметры подачи струй в этом диапазоне, и формирует целый спектр струй — от сплошной до максимально распыленной. Наведение струи и управление углом факела ее распыления осуществляются посредством современных электроприводов со следящими системами. Контроллеры на блоках управления приводами позволяют обрабатывать движения по сложным траекториям.

В основе ствольной части потоконаправляющей конструкции ПР находится шаровой шарнир вместо традиционных конструкций с многоповоротными гнутыми трубами, что позволяет значительно уменьшить поворотную часть, снизить потери напора в стволе, а также существенно упростить конструкцию, уменьшить ее габариты и массу.

Компоновка электрооборудования выполнена компактно в одном корпусе. В корпус ПР, имеющий пылевлагозащищенное исполнение IP65, встроена система, поддерживающая микроклимат по температуре и влажности. Корпус обеспечивает защиту электрооборудования и подводящих кабелей от воздействия повышенных температур, кратковременного воздействия открытого пламени и различного вида механических воздействий. Рабочая зона действия робота — все окружающее простран-

ство в радиусе действия струи до 85 м. Робот поворачивается на 360° в горизонтальной плоскости, а ствол имеет угол возвышения от -15 до +75°. При использовании распыленной струи зона действия в вертикальной плоскости значительно расширяется, что особенно важно при работе на ближних дистанциях.



Рис. 5. Пожарный робот ПР-АСД-С60Уш-ИК-ТВ

В заключение можно сказать, что пожарная команда, усиленная пожарными роботами — железными огнеборцами, представляет собой сборную пожарную команду XXI века, в которой собраны воедино достижения пожарной охраны и пожарной автоматики. Такое объединение даст возможность значительно повысить эффективность технических средств, применяемых на пожарах, а наличие в составе команды ПР облегчит и сделает более безопасной работу, выполняемую человеком в экстремальных условиях.

Для организации такой системы необходимо выработать единую техническую политику, которая включает:

- введение для АУП на базе ПР технических требований по их применению работниками пожарной охраны в дистанционном и автоматизированном режимах;
- выработку тактики тушения пожаров с применением ПР;
- включение в боевой устав пожарной охраны порядка применения РУП и ПР при тушении пожаров;
- обучение личного состава пожарных частей управлению ПР.

© Ю. И. ГОРБАНЬ,

генеральный директор – главный конструктор ЗАО “Инженерный центр пожарной робототехники “ЭФЭР” — коллективного члена НАНПБ, г. Петрозаводск

© Е. А. СИНЕЛЬНИКОВА,

канд. техн. наук, заместитель начальника отдела НИЦ ПиСТ ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха Московской области

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

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

УДК 614.841.123.24

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ ИНЕРТНЫМИ ГАЗАМИ В МОДЕЛИ ПОМЕЩЕНИЯ С ПРОЕМАМИ

Выявлены закономерности процесса тушения пожаров в закрытых помещениях с проемом с использованием инертного газа. Рассмотрены допущения, которые необходимо ввести для анализа модели процесса тушения пожара в закрытом помещении, и показано, что их введение позволит избежать громоздких и трудоемких вычислений. Показано также, что пожар в закрытом помещении в условиях интенсивного газообмена определяется видом и размером пожарной нагрузки. Установлено, что введение инертного газа, например диоксида углерода, в помещение нарушает установившийся режим горения, и положение нейтральной зоны начинает меняться; при этом чем больше расход газа, тем быстрее снижается ее уровень. Горение прекращается, как только плоскость нулевого давления достигает поверхности горения, если она расположена на уровне или выше уровня проема. Если основание проема выше уровня поверхности горения, то горение практически прекращается в момент достижения нейтральной зоной основания проема.

Ключевые слова: пожаротушение; инертный газ; модуль газового пожаротушения; модель помещения с проемами; пожарная нагрузка; режим горения; нейтральная зона.

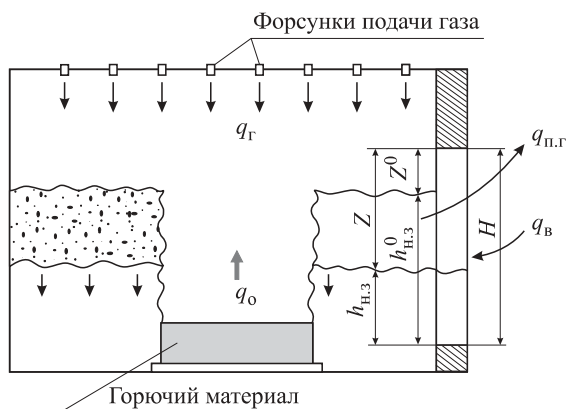
Модули газового пожаротушения — это современные и надежные противопожарные средства, которые являются одним из наиболее востребованных видов автоматических систем пожаротушения. В модулях газового пожаротушения могут использоваться в качестве газового огнетушащего вещества инертные газы — хладон, аргон, азот, углекислый газ, а также смеси аргонит, инерген, Noves. Газовое пожаротушение эффективно прежде всего в замкнутых объемах, т. е. в помещениях, которые не имеют постоянно открытых проемов.

Одним из наиболее востребованных инертных газов является углекислый газ (углекислота). При нормальных атмосферных условиях углекислота представляет собой сухой нейтральный газ без цвета и запаха. При небольших концентрациях в воздухе (до 5 %) она безопасна для человека. Углекислота неэлектропроводна, химически неагрессивна к металлам, нефтепродуктам и другим легковоспламеняющимся жидкостям, оказывает щадящее действие на материалы и оборудование. Будучи в 1,5 раза тяжелее воздуха, она может проникать в места, труднодоступные для других средств пожаротушения: под плиты машинных и котельных отделений, в ограниченные пространства грузовых трюмов,

танков, топливных цистерн, специальных судовых кладовых и т. д.

Углекислота хранится обычно в жидком состоянии в стальных баллонах. Для систем углекислотного пожаротушения, работающих под давлением порядка 12,5 МПа (125 кгс/см²), принято использовать стандартные 40-литровые баллоны, содержащие по 25 кг углекислоты. Баллоны размещают группами по 8–16 шт. в вертикальном положении головками вверх. При выходе из баллонов и внезапном расширении углекислота испаряется, превращаясь в газ, при этом ее объем увеличивается более чем в 500 раз. Часть углекислоты в результате переохлаждения переходит в твердое состояние, образуя “снежные хлопья”, которые, попадая в очаг горения, мгновенно превращаются в газ. При этом углекислый газ, опускаясь к очагу пожара и обволакивая горящие вещества и предметы, вытесняет воздух, в результате чего концентрация кислорода в зоне горения снижается и горение прекращается. Эффективность пожаротушения достигается при достаточно высокой концентрации углекислоты в атмосфере помещения (22–23 %).

Совокупность батарей баллонов, соответствующего оборудования и трубопроводов называют



Модель помещения и характерного момента процесса тушения инертным газом: H — высота проема, м; $h_{н.з}$ — расстояние до плоскости нулевого перепада давлений, м; $h_{н.з}^0$ — нейтральная зона (зона равных давлений) в помещении, м; Z^0 — высота верхней части проема, через который продукты горения выходят из помещения, м; Z — высота части проема, через которую происходит отвод продуктов горения из помещения, м; $q_Г$ — объемный расход газа, м³/с; $q_В$ — объемный расход воздуха, поступающего в помещение, м³/с; $q_О$ — объемный расход продуктов горения горючей жидкости, м³/с; $q_{п.г}$ — объемный расход продуктов горения, уносимых из помещения, м³/с

станцией углекислотного пожаротушения. В зависимости от размеров защищаемых помещений углекислотная система может состоять из одной или нескольких станций. Температура в помещении станции должна быть умеренной — не более 40 °С, так как при дальнейшем ее увеличении возможно усиленное испарение углекислоты и опасное повышение давления в баллонах.

Закономерности процесса тушения пожаров с использованием инертного (в нашем случае углекислого) газа рассмотрим на примере горения площадки с горючей жидкостью (ГЖ) или штабеля древесины в модели закрытого помещения с одним проемом на фасаде (см. рисунок).

Через 3 мин после поджигания очага горения внутрь модели подается сверху диоксид углерода с постоянным расходом в течение всего опыта. При достижении в зоне горения концентрации газа, равной его минимальной флегматизирующей концентрации, горение прекратится, и пожар можно считать ликвидированным.

В модель процесса тушения пожара инертным газом в закрытом помещении необходимо ввести ряд упрощений, которые в принципе не противостоят реальному процессу и позволяют избежать громоздких и трудоемких вычислений, которые возможны лишь с использованием ЭВМ.

К моменту начала подачи диоксида углерода считаем процесс горения установившимся, что означает сохранение неизменным положения только нейтральной зоны (зоны равных давлений) в по-

мещении. На модели эта зона обозначена $h_{н.з}^0$: $h_{н.з}^0 = H - Z^0$. Параметр Z определяет площадь проема, через который происходит отвод продуктов горения из помещения. Естественно, что вместе с продуктами горения из помещения будет уноситься часть газа, подаваемого для тушения пожара.

Потоки газов $q_В$ и $q_{п.г}$ определяются произведением соответствующих линейных скоростей на площади проемов:

$$q_В = U_В F_В \mu = U_В h_{н.з} B_В; \quad (1)$$

$$q_{п.г} = U_{п.г} F_{п.г} \mu = U_{п.г} (H - h_{н.з}) B_В = U_{п.г} Z \mu B_В, \quad (2)$$

где $U_В$ и $U_{п.г}$ — линейные скорости соответственно поступающего в помещение воздуха и уносимых продуктов горения, м/с;

$F_В$ и $F_{п.г}$ — площади частей проема, через которые соответственно поступает воздух и уносятся продукты горения, м²;

μ — коэффициент, учитывающий площадь проема;

$B_В$ — ширина проема, м.

Примем несколько допущений.

Первое допущение. Величина потока продуктов горения $q_О$ не зависит от высоты подъема, поскольку, с одной стороны, восходящий нагретый поток разбавляется частично воздухом из помещения, а с другой — охлаждается в результате конвективного теплообмена, т. е. величина потока воздуха компенсируется общим понижением температуры восходящей газовой колонны. Такое упрощение позволяет учесть действие двух факторов — увлечение части воздуха восходящими продуктами горения и постепенное понижение температуры газа по мере его подъема. При этом расход продуктов горения ГЖ может быть рассчитан по формуле

$$q_О = (U_М V_О T_О) / T_Г, \quad (3)$$

где $U_М$ — массовая скорость выгорания горючей жидкости, кг/с;

$V_О$ — теоретический удельный объем воздуха, необходимый для сжигания 1 кг горючего, м³/кг;

$T_Г$ и $T_О$ — температура продуктов горения с учетом тепловых потерь и температура окружающей среды соответственно, К.

Данное допущение позволяет понять, что увеличение объема восходящей колонки за счет подсоса воздуха компенсируется уменьшением ее объема в результате охлаждения ее тем же воздухом. Объем восходящего газового потока в каждом элементарном сечении постоянен, поскольку увеличение массы обеспечивается синхронным повышением плотности смеси продуктов горения и воздуха.

Второе допущение. Состав и температура среды над плоскостью нулевого давления одинаковы во всех точках, т. е. поступающие продукты горе-

ния практически мгновенно перемешиваются с газовой средой.

Третье допущение. Если поток продуктов горения намного превышает поток газовой смеси из помещения через проем, то их содержание в помещении начнет увеличиваться, что приведет к постепенному уменьшению высоты нейтральной зоны. При $h_{н.з}^0 = 0$ зона горения окажется полностью блокированной продуктами горения, которые благодаря флегматизирующему действию компонентов (инертного газа и паров воды) прекратят процесс горения.

Таким образом, потухание внутреннего пожара может произойти и без дополнительного введения газа, а за счет образования и самопроизвольного накопления нейтральных газов в процессе горения.

Плотность газовой смеси над плоскостью нулевого давления P изменяется от $\rho_z = \rho_v$ при $Z = 0$ и $\tau = 0$ до $\rho_z = \rho_k$ при $Z = H$ и $\tau = \tau_k$ (где ρ_z, ρ_k — плотности соответственно газовых смесей в зоне Z и продуктов горения, выносимых через проем; ρ_v — плотность воздуха, поступающего в помещение; τ_k — момент времени, к которому $h_{н.з} = 0$ и $Z = H$). Причем зависимость ρ_z от Z можно представить формулой

$$\rho_z = \frac{\rho_v \rho_k H}{(\rho_v - \rho_k)Z + \rho_k H}, \quad (4)$$

которая вполне отвечает указанным выше граничным условиям: при $Z = 0$ $\rho_z = \rho_v$ и при $Z = H$ $\rho_z = \rho_k$.

Зависимость ρ_z от Z , введенная формулой (4), позволяет в явном виде представить взаимосвязь плотности продуктов горения $\rho_{п.г}$ и параметра $h_{н.з}$ или точнее $q_{п.г}$ и Z . Согласно формуле (2)

$$q_{п.г} = \mu U_{п.г} Z B_v = \mu B_v \sqrt{2qZ \frac{\rho_v - \rho_k}{\rho_z}}. \quad (5)$$

Подставив в $(\rho_v - \rho_z)/\rho_z$ вместо параметра ρ_z его выражение по формуле (4), получим:

$$\frac{\rho_v - \rho_z}{\rho_z} = \frac{Z(\rho_v - \rho_k)}{H\rho_k}. \quad (6)$$

Обозначим $(\rho_v - \rho_k)/\rho_k = \beta$ и подставим его и (6) в (5):

$$q_{п.г} = \mu B_v Z^2 \sqrt{2q\beta/H}. \quad (7)$$

Приняв $\beta = 2,0$ и $\mu = 0,7$, получим $\mu\sqrt{2q\beta} = \text{const} = 4,0 \text{ м}^{1/2}/\text{с}$; $\sqrt{2q\beta} = 6,3 \text{ м}^{1/2}/\text{с}$.

Обозначим $4,0 B_v / H^{1/2} \equiv n$. Тогда

$$q_{п.г} = 6,3 \mu B_v \frac{Z^2}{H^{1/2}}. \quad (8)$$

Выражение (8) показывает, что поток газов из помещения с одним проемом пропорционален квадрату высоты верхней части проема.

Четвертое допущение. Если характер пожара зависит от количества и вида пожарной нагрузки, то поток продуктов горения можно рассчитать по формуле (3), но при ограниченной площади проемов скорость горения на пожаре определяется интенсивностью газообмена, т. е. скоростью поступления воздуха в помещение. Запишем выражение (7) для q_v по аналогии с формулой (5):

$$q_v = \mu B_v h \sqrt{2q h_{н.з} \frac{\rho_v - \rho_h}{\rho_h}}, \quad (9)$$

где ρ_h — средняя плотность газа в части помещения от пола до плоскости равных давлений (ПРД), $\text{кг}/\text{м}^3$.

Средняя плотность газа в помещении до уровня плоскости нулевого давления (ПНД) может быть выражена с учетом плотности газа в восходящей колонне над поверхностью горения ρ_q ($\text{кг}/\text{м}^3$), которая, в свою очередь, зависит от высоты над уровнем пола. Исходя из очевидных соображений, имеем: $\rho_q = \rho_\Gamma$ при $h_{н.з} = 0$ и $\rho_q = \rho_v$ при $h = H$; $\rho_h = \rho_v$ при $F_{п} = 0$ и $\rho_h = \rho_q$ при $F_{п} = F_o$ (где $F_{п}$ — площадь помещения; F_o — площадь пожара).

Таким образом, удастся в явном виде представить соотношение $(\rho_v - \rho_h)/\rho_h$:

$$\frac{\rho_v - \rho_h}{\rho_h} = \frac{F_{п}}{F_o} \frac{\rho_v - \rho_q}{\rho_v} = \frac{(\rho_v - \rho_\Gamma)(2H - h)}{2\rho_v H}, \quad (10)$$

где ρ_Γ — плотность продуктов горения в момент их образования, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Подставив выражение (10) в исходную формулу (9) и проведя ряд преобразований, получим формулу для определения q_v , применение которой ограничено значением $h_{н.з} \geq 0,4H$, причем начиная с $h_{н.з} \geq 5H$ погрешность расчета не превышает 15 %, а при $h \sim 0,6H$ составляет менее 8 %:

$$q_v = \mu F_1 \left(\frac{F_{п} H}{F_o} \right)^{1/2} \left(\frac{\rho_v - \rho_\Gamma}{\rho_v} \right)^{1/2}. \quad (11)$$

Выражение (11) необходимо для определения установившегося уровня нейтральной зоны в случае, когда скорость горения обусловлена газообменом.

Определим положение ПРД в помещении при установившемся горении перед началом подачи огнетушащего газового состава.

Если положение ПНД в течение определенного периода времени остается неизменным, то масса воздуха G_o , нагретого в процессе горения до температуры продуктов горения, равна массе газового потока $G_{п.г}$, уходящего из помещения через верхнюю часть проема, т. е.

$$G_o = G_{п.г}, \quad (12)$$

где $G_o = \rho_o q_o$; $G_{п.г} = \rho_{п.г} q_{п.г}$.

Подставим в формулу (12) значения объемных расходов воздуха, поступающего в помещение, и продуктов горения, уносимых из помещения, рассчитанных по формулам (11) и (8). После некоторых преобразований получим уравнение

$$Z = 0,43H \left(\frac{F_n}{F_o} \right)^{1/2} \left[\sqrt{1 + 4,65 \left(\frac{F_n}{F_o} \right)^{1/2}} - 1 \right]. \quad (13)$$

В зависимости от соотношения площадей пожара и помещения значения параметров Z и $h_{н.з.}$ меняются в узком диапазоне: при $F_n/F_o = 0,5$ $Z = 0,53H$ и $h_{н.з.} = 0,47H$, а при $F_n/F_o = 0,8$ $Z = 0,57H$ и $h_{н.з.} = 0,43H$.

Таким образом, к моменту начала тушения параметр Z может быть рассчитан по соотношению (13). Количество и природа пожарной нагрузки в этом варианте не определяют установившегося уровня нейтральной зоны, поскольку горение обуславливается только интенсивностью газообмена — притоком воздуха в помещение.

Характер пожара в условиях интенсивного газообмена определяется видом и количеством пожарной нагрузки. Размеры проемов достаточно велики, и поток воздуха с избытком может обеспечить объем кислорода, теоретически необходимый для свободного развития пожара.

При установившемся режиме горения массы газа, поступающего в помещение при горении и выходящего из него, равны. Напишем уравнение баланса массы газов в соответствии с формулами (3) и (8) и выразим массовую скорость выгорания через удельную:

$$U'_m F_o V_o \rho_o \left(\frac{T_o}{T_r} \right) = 6,3\mu B_v \left(\frac{Z^2}{H^{1/2}} \right) \rho_o, \quad (14)$$

где U'_m — удельная скорость выгорания, кг/(м²·с).

Отсюда

$$Z = \sqrt{\frac{U'_m F_o V_o (T_o/T_r) H^{1/2}}{6,3\mu B_v}}. \quad (15)$$

Формула (15) в отличие от соотношения (13) дает зависимость высоты части проема, через которую происходит отвод продуктов горения, не только от общей высоты проема H , но и от параметров пожарной нагрузки в помещении.

Рассмотрим пример расчета высоты части проема, через которую происходит отвод продуктов горения, на лабораторной модели.

Возьмем следующие исходные данные: $U'_m = 0,02$ кг/(м²·с); $F_n = 200$ см² = $200 \cdot 10^{-4}$ м²; $B_v = 0,15$ м; $H = 0,15$ м; $V_o = 4,2$ м³/кг; $T_r = 1200$ К; $T_o = 300$ К; $\mu = 0,6$.

Подставив данные в формулу (15), получим:

$$Z = \sqrt{\frac{0,02 \cdot 0,02 \cdot 4,2 \cdot 1200 \cdot 0,15^{1/2}}{6,3 \cdot 0,6 \cdot 300 \cdot 0,15}} = 0,02 \text{ м} = 2 \text{ см}.$$

Отсюда высота нейтральной зоны $h_{н.з.} = H - Z = 13$ см.

Введение диоксида углерода в помещение нарушает установившийся режим горения, и положение нейтральной зоны начинает меняться; при этом чем больше расход газа, тем быстрее снижается ее уровень. Горение прекратится, как только плоскость нулевого давления достигнет поверхности горения, если она расположена на уровне или выше уровня проема. Если основание проема выше уровня поверхности горения, то горение практически прекратится в момент достижения нейтральной зоной основания проема, т. е. условием тушения является $h = 0$ или $Z = H$.

Введение газа рассматривается как условие, необходимое для уменьшения высоты нейтральной зоны. Попытаемся определить время тушения модельного очага через толщину слоя продуктов горения, исходное положение которого задается исходным значением Z , вычисляемым по формуле (13) или (15) в зависимости от типа пожара.

Запишем уравнение, из которого можно определить время тушения модельного очага с ГЖ диоксидом углерода τ_t (с):

$$(F_n - F_o) dZ = q_r d\tau - q_{н.г.} d\tau. \quad (16)$$

Подставив формулу (8) в (16), получим:

$$(F_n - F_o) \frac{dZ}{d\tau} = q_r - 6,3\mu B_v \left(\frac{Z^2}{H^{1/2}} \right) \quad (17)$$

или

$$d\tau = \frac{H^{1/2} (F_n - F_o) dZ}{6,3\mu B_v \frac{qH^{1/2}}{6,3\mu B_v} Z^2}. \quad (18)$$

Обозначим член $qH^{1/2}/(6,3\mu B_v)$ через a^2 и проведем интегрирование от $\tau = 0$ до $\tau = \tau_t$ и от $Z = Z^0$ до $Z = H$:

$$\int_{\tau=0}^{\tau=\tau_t} \tau = \frac{H^{1/2} (F_n - F_o)}{6,3\mu B_v} \int \frac{dZ}{a^2 - Z^2}; \quad (19)$$

$$\left| \tau \right|_0^{\tau_t} = \frac{H^{1/2} (F_n - F_o)}{6,3\mu B_v} \frac{1}{2a} \left| \ln \frac{a+Z}{a-Z} \right|_{Z=Z^0}^{Z=H};$$

$$\tau_t = \tau_o \ln \frac{a+H}{a-H} \cdot \frac{a-Z^0}{a+Z^0}; \quad (20)$$

$$\tau_t = \frac{H^{1/2} F_o}{6,3\mu B_v \cdot 2a} = \left(\frac{H}{6,3\mu B_v q_1} \right)^{1/2} H^{1/2} F_o;$$

$$a = \sqrt{\frac{q_1 H^{1/2}}{6,3 \mu B_v}}.$$

Поскольку $a > H$ и, соответственно, $a \gg Z^0$, то выражение (20) можно упростить:

$$\tau_T = \tau_0 \ln \frac{a + H}{a - H}. \quad (21)$$

Уравнение (21) можно упростить, если представить его в следующем виде:

$$\ln \left(\frac{\tau_T}{\tau_0} \right) = \frac{a + H}{a - H}. \quad (22)$$

Показательную функцию разложим в степенной ряд и ограничимся первыми двумя членами ряда. При этом погрешность формулы не превысит 20 %, если $\tau_T < \tau_0$.

После преобразований получим

$$\tau_T = 2\tau_0 H / (a - H) \quad (23)$$

$$\text{или} \quad \tau_T = \frac{n}{\sqrt{q}} \frac{H}{m\sqrt{q} - H}, \quad (24)$$

$$\text{где } n = \frac{2HF_0}{(6,3 \mu B_v)^{1/2}}; \quad m = \frac{H^{1/4}}{(6,3 \mu B_v)^{1/2}}.$$

Обработав экспериментальные данные зависимости величин $\frac{1}{\tau_T \sqrt{q}}$ от $\sqrt{q}$ в соответствии с (24)

получим прямую, описываемую уравнением

$$\frac{1}{\tau_T \sqrt{q}} = \frac{m}{nH} \sqrt{q} - \frac{1}{n}. \quad (25)$$

Параметры m , n и H , входящие в соотношение (25), могут быть рассчитаны до проведения эксперимента, поэтому прямая, полученная теоретически в координатах формулы (25), может быть сопоставлена с опытными данными.

Полученная зависимость позволит проводить расчет времени тушения пожара с учетом объемного расхода инертного газа и параметров проема в помещении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов Г. К. Вопросы теории подобия в области физико-химических процессов. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — 206 с.
2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. — М.: Наука, 1973. — 847 с.
3. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М.: АН СССР, 1961. — 208 с.
4. Мак-Адамс В. Х. Теплопередача / Пер. с англ. — Л.-М., 1936. — 440 с.

Материал поступил в редакцию 15 ноября 2013 г.

English

FIRE EXTINGUISHING BY INERT GASES IN THE MODEL OF ROOM WITH OPENINGS

KOROL'CHENKO D. A., Candidate of Technical Sciences, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety Head of Department of Complex Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: ICA_kbs@mgsu.ru)

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

ABSTRACT

It presents process patterns of fire extinguishing with the inert gas in confined room with one front opening. The article considers the assumptions that should be introduced in order to analyze the process pattern of fire extinguishing in confined room; and demonstrates that these assumptions will eliminate cumbersome and time-consuming calculations. Therein it is shown that the fire in confined room with intensive gas exchange is determined by the type and scope of fire load. It is established that the injection of an inert gas, e. g. carbon dioxide, into the room distorts the rate of fire which leads to repositioning of a neutral zone. Thus, the more gas is consumed, the faster decreases

the level of the neutral zone. Burning stops as soon as the plane of zero pressure reaches the burning surface — if it is at the level or above the level of front opening. If the opening bottom is above the burning surface, burning almost ceases when the neutral zone reaches the opening bottom.

Keywords: fire extinguishing; inert gas; pattern of gaseous fire suppression; model of room with openings; fire load; rate of fire; neutral zone.

REFERENCES

1. Dyakonov G. K. *Voprosy teorii podobiya v oblasti fiziko-khimicheskikh protsessov* [Questions of similarity theory in the field of physical and chemical processes]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1956. 206 p.
2. Loytsyanskiy L. G. *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Mechanics of liquid and gas]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 847 p.
3. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye gorenije zhidkostey* [Diffusion burning of liquids]. Moscow, Russian Academy of Sciences Publ., 1961. 208 p.
4. McAdams W. H. *Heat transmission*. New York, McGraw-Hill, 1933. (Russ. ed.: McAdams W. H. *Teploperedacha*. Leningrad–Moscow, 1936. 440 p.).



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

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



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

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

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

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



ISSE

INTEGRATED SAFETY & SECURITY EXHIBITION

КРУПНЕЙШАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ВЫСТАВКА ПО БЕЗОПАСНОСТИ

VII международный салон

КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2014

РЕКЛАМА

Москва,
Всероссийский выставочный центр,
павильоны № 75 и № 69

20 - 23 мая

Тематические разделы



Пожарная
безопасность



Техника
охраны



Безопасность
границы



Медицина
катастроф



Защита
и оборона



Средства
спасения



Экологическая
безопасность



Промышленная
безопасность



Информационные
технологии



Комплексная безопасность
на транспорте



Ядерная
и радиационная безопасность

WWW.ISSE-RUSSIA.RU

28–30 мая

Красноярск

2014



X специализированный форум-выставка



- **Безопасность банковского сектора – NEW**
- Технические средства и системы безопасности
- Инженерно-технические средства физической защиты
- Пожарная безопасность
- Аварийно-спасательное оборудование
- Транспорт
- Экипировка. Индивидуальные средства защиты
- Информационная безопасность

РЕКЛАМА



сибирь
международный
выставочно-деловой центр



Организаторы:



Информационная поддержка:

БЕЗОПАСНОСТЬ
всероссийский специализированный журнал

ПОЖНАУКА
Издательство



МВДЦ «СИБИРЬ»

ул. Авиаторов, 19

тел.: (391) 22-88-400

22-88-611 – круглосуточно

ccb@krasfair.ru, www.krasfair.ru

В. В. КУКУЕВА, канд. хим. наук, доцент, начальник кафедры процессов горения Академии пожарной безопасности им. Героев Чернобыля (Украина, 18034, г. Черкассы-34, ул. Оноприенко, 8; e-mail: kukueva@yahoo.com)

УДК 544.128.12

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИХ УГЛЕВОДОРОДОВ, ПРОЯВЛЯЮЩИХ ОГНЕТУШАЩИЙ ЭФФЕКТ

Путем квантово-химических расчетов проведено исследование с целью поиска вероятных продуктов деструкции огнетушащих веществ. Сравнительная характеристика бром- и иодсодержащих аналогов показала, что иодсодержащие углеводороды могут быть более эффективными ингибиторами горения, чем хладоны. Показано, что образование атомарного фтора и трифторметан-радикала при использовании фторсодержащих веществ также способствует замедлению элементарных реакций в очаге пламени, но менее эффективно, чем при использовании иодсодержащих аналогов.

Ключевые слова: квантово-химический расчет; ингибитор горения; заменитель хладонов; активные центры пламени.

Введение

С каждым годом все четче прослеживается экологический аспект опасности возникновения пожаров. Любой пожар наносит вред окружающей среде. В некоторых случаях экологические потери значительно серьезнее экономических: пожары отрицательно влияют на атмосферу, водную среду, леса, растения, почву. В очаге пожаров образуются токсичные продукты горения — оксид и диоксид углерода, синильная кислота, вредные соединения азота. Пагубно влияет на природу не только пожар, но и некоторые огнетушащие вещества, используемые для его тушения (пены, хладоны и т. д.). Иногда применение огнетушащих веществ на объектах промышленности приводит к длительным экологическим нарушениям. В 1948 г. армия США, учитывая значительные потери во время второй мировой войны, инициировала исследования с целью поиска эффективных нетоксичных огнетушащих средств. Во время исследований, результаты которых позднее стали известны широкой общественности, были рассмотрены примерно 60 соединений, главным образом галогенсодержащие углеводороды (названные позднее хладами). При этом были идентифицированы хладоны 1301 (CF_3Br), 1211 (CF_2ClBr), 2402 ($\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$) и 1202 (CHF_2Br). Многие страны Европы использовали хладон 1211, но впоследствии перешли на 1301, как менее токсичный. Россия (и страны СНГ) применяли преимущественно хладон 2402 [1].

Значительные усилия по изучению огнетушащих хладонов ученые прилагали уже в начале 70-х годов прошлого века, еще до того, как было установлено их негативное воздействие на озоновый слой страто-

сферы. Исследования касались тлеющего горения, кинетики, оценки физического и химического эффектов. Эксперименты показали, что хладон 1301 проявляет химический эффект на 80 %. Было доказано, что химическое воздействие, которое состоит в захвате активных центров пламени (АЦП) — $\text{H}^\bullet$, $\text{O}^\bullet$ и $\text{OH}^\bullet$ и др. продуктами деструкции огнетушащих веществ, обеспечивается на 25 % за счет улавливания АЦП радикалом $\text{CF}_3^\bullet$ и на 55 % за счет каталитической рекомбинации с атомами Br. Результаты, доказывающие высокую огнетушащую эффективность $\text{CF}_3^\bullet$, были позже применены с целью выбора синтезированной молекулярной структуры 1,1,1,2,3,3,3-гептафторпропана в качестве перспективного кандидата на замену хладонов [1].

В настоящее время нет веществ, которые бы обеспечивали прекращение огня эффективнее хладонов. Однако использование хладонов вызывает беспокойство ученых из-за их разрушающего воздействия на озоновый слой стратосферы. Газовые огнетушащие вещества, предлагаемые взамен хладонов, имеют ряд существенных недостатков. Они, как правило, уступают хладам в огнетушащей эффективности в 1,5–10 раз, что требует увеличения объемов и массы ингибитора. Применение некоторых из них ограничено их высокой токсичностью. В связи с вышесказанным сокращать использование хладонов следует постепенно, заменяя их альтернативными газовыми огнетушащими веществами с близким к нулю озоноразрушающим потенциалом. Эти вещества, кроме того, должны иметь аналогичные хладам физико-химические свойства, что

позволило бы снизить расходы на переоборудование систем пожаротушения [2].

Хладон 1301 (трифторбромметан) является высокоэффективным огнетушащим веществом. Его активность в большинстве работ объясняется каталитическим удалением атомов водорода как одного из АЦП из реакционной среды за счет их взаимодействия с атомами брома [3]. Наиболее обещающими кандидатами на замену трифторбромметана являются фторсодержащие углеводороды. Огромные усилия ученых направлены на выяснение механизма огнетушащего действия фторсодержащих ингибиторов в присутствии топлива и окислителя [3–7]. Такая заинтересованность основана на том, что скорость горения обусловлена как физико-химическими параметрами, характеризующими огнетушащую эффективность, так и строением молекул ингибиторов. Есть основания полагать, что аналогичные по строению и физико-химическим свойствам химические соединения могут проявлять подобный огнетушащий эффект, который заключается в улавливании АЦП молекулой ингибитора или продуктами ее деструкции. Так, в научной литературе рассматриваются такие структурные аналоги хладона 1301 (CF_3Br), как CF_3I и CF_3H . В работе [7] отмечается, что CF_3Br и CF_3I проявляют ингибирующие свойства. Авторы считают, что оба ингибитора удаляют АЦП ($\text{H}^\bullet$, $\text{O}^{\bullet\bullet}$ и $\text{OH}^\bullet$) путем протекания хорошо известных каталитических циклов: $\text{HBr} \rightarrow \text{H} \rightarrow \text{HBr}$ и $\text{HI} \rightarrow \text{H} \rightarrow \text{HI}$. Дополнительно с молекулами топлива также реагируют другие продукты деструкции исследуемых огнетушащих веществ ($\text{CF}_3^\bullet$, $\text{Br}^\bullet$, $\text{I}^\bullet$). В работе [8] утверждается, что радикалы $\text{CF}_3^\bullet$ хорошо реагируют с метил-радикалами $\text{CH}_3^\bullet$, которые в значительной концентрации присутствуют в углеводородном пламени. При этом образуются фторэтилены: $\text{CF}_2=\text{CF}_2$, $\text{CH}_2=\text{CF}_2$ (с побочным продуктом HF). Другой путь реакции заключается в образовании фторэтана CH_3-CF_3 .

В работе [9] исследована эффективность одного из самых простых фторсодержащих углеводородов — CF_3H как экспериментально, так и теоретически. Расчетными методами проанализированы основной химический и термический механизмы тушения, разработана детальная кинетическая модель, которая включает 23 радикала, участвующие в 60 элементарных реакциях. Было показано, что скорость горения значительно снижается при добавлении CF_3H . Так, экспериментальными и расчетными методами было установлено, что трифторметильный радикал удаляет из пламенной зоны атомы водорода по реакции: $\text{CF}_3^\bullet + \text{H}^\bullet \rightarrow \text{CF}_3\text{H} + \text{H}^\bullet$. Было доказано также, что химический эффект (захват активных центров пламени радикалами-ловушками, образующимися в результате термического разложения

огнетушащего вещества) преобладает в реакции обрыва цепи: $\text{H}^\bullet + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{HO}_2^\bullet + \text{M}$. Анализ показал, что увеличение скорости реакции $\text{CF}_3^\bullet + \text{O}^{\bullet\bullet} \rightarrow \text{CF}_2\text{O} + \text{F}^\bullet$ приводит к ингибированию, а $\text{CF}_3^\bullet + \text{H}^\bullet \rightarrow \text{CF}_3\text{H}$ — к увеличению скорости горения. В наших предыдущих работах [10, 11] путем квантово-химических расчетов было показано, что радикал $\text{CF}_3^\bullet$ взаимодействует с АЦП. Однако, поскольку атом фтора образует значительно более крепкую связь с атомарным водородом, из последовательности реакций исключается регенерация ингибирующего радикала, что коренным образом нарушает каталитический цикл ингибирования. Есть основания полагать, что именно в этом состоит основная причина более слабых ингибирующих свойств фторсодержащих углеводородов по сравнению с другими галогенсодержащими аналогами.

Для того чтобы прогнозировать образование продуктов в пламени наряду с теплоотводом из зоны реакции, необходимо правильно описать пути деструкции этих веществ. Полезным инструментом исследования изменения структурных особенностей молекул в элементарных стадиях химического процесса являются квантово-химические методы расчетов.

Целью данной работы является квантово-химическое исследование энергии отрыва атомов брома, иода и фтора от фторсодержащих углеводородов, которые в качестве огнетушащих веществ могут быть альтернативой запрещенным хладонам.

Методика исследований

Роль квантовой химии в интерпретации природы химической связи в молекулах и твердых телах трудно переоценить. Однако значение квантово-химических расчетов возрастает в тех случаях, когда экспериментальное исследование того или иного явления затруднено или вообще невозможно на современном этапе развития науки. К таким процессам относятся реакции, происходящие в пламени, а также адсорбционные явления на поверхности дисперсного огнетушащего порошка. С целью поиска путей оптимизации ингибирующего действия активных компонентов, а также для объяснения механизма ингибирования проведены квантово-химические расчеты *ab initio* неограниченным методом Хартри–Фока с использованием базисного набора 6-31G* с помощью программы GAMESS 6.4 для Windows, созданной А. Грановским (МГУ, Россия) [12]. Вероятные пути реакции рассчитывались путем вычисления энергии деструкции исследуемых огнетушащих веществ и энергии взаимодействия продуктов деструкции с активными центрами пламени. Соответственно, чем меньше энергия, тем вероятнее взаимодействие.

Результаты исследования и их обсуждение

На начальном этапе в результате широкого литературного поиска нами были выбраны объекты исследования: молекулы огнетушащих веществ, которые, во-первых, проявляют ингибирующие свойства, во-вторых, содержат атомы или группы атомов, имеющиеся в большинстве огнетушащих веществ подобного типа. Вторым обязательным условием выбора является нулевой озоноразрушающий потенциал исследуемых соединений. Для сравнения нами был рассчитан также хладон 1301 (CF_3Br). Энергия разрыва связей вычислялась по закону Гесса. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Как видно из результатов расчетов (см. табл. 1), энергия разрыва связи $\text{C}-\text{I}$ невелика, в полтора раза меньше по сравнению с бромсодержащим аналогом. Разность энергий разрыва связей $\text{C}-\text{галоген}$ для хлор- и бромпроизводных фторметана не существенна. Это совпадает с выводами экспериментаторов об аналогичных ингибирующих свойствах хлор- и бромпроизводных насыщенных углеводородов.

Проблемность определения особенностей, которые наблюдали в спектре фотопоглощения CF_3I Н. Мейсон с соавт. [13], обусловлена очень сложной структурой, наложением ридберговских и валентных состояний и неопределенностью относительно точных адиабатических энергий ионизации, связанных с ионными состояниями. Поэтому сравнение спектров близких по строению молекул очень важно для понимания процессов электронного возбуждения CF_3I . Все молекулы CF_3I , CF_3Br и CF_3Cl имеют одинаковую C_{3v} -симметрию и рассматриваются как псевдотрехатомные, где три атома F выступают как группа F_3 , расположенная в центре масс этих атомов. Соответствующие колебательные моды включают удлинение и деформацию CF_3 , но при этом отсутствует движение, характерное для индивидуальных σ -связей CF . Только одно симметричное валентное колебание CF_3 может быть возбуждено так называемой “функцией зонтика” [13].

Таблица 1. Энергия гомолитического разрыва связей в галогенпроизводных метана

№ п/п	Реакционный путь	Энергия разрыва связи E , ккал/моль
1	$\text{CF}_3\text{Br} \rightarrow \text{CF}_3^\bullet + \text{Br}^\bullet$	37,8
2	$\text{CF}_3\text{Br} \rightarrow \text{CF}_2\text{Br}^\bullet + \text{F}^\bullet$	63,4
3	$\text{CF}_3\text{Cl} \rightarrow \text{CF}_3^\bullet + \text{Cl}^\bullet$	36,0
4	$\text{CF}_3\text{Cl} \rightarrow \text{CF}_2\text{Cl}^\bullet + \text{F}^\bullet$	64,0
5	$\text{CF}_3\text{I} \rightarrow \text{CF}_3^\bullet + \text{I}^\bullet$	25,1
6	$\text{CF}_3\text{I} \rightarrow \text{CF}_2\text{I}^\bullet + \text{F}^\bullet$	62,8

В работе [5] отмечается наиболее лабильный характер связи $\text{C}-\text{Br}$. Ее разрыв с последующим образованием атомов $\text{Br}^\bullet$ приводит к быстрому образованию HBr , что и обеспечивает ингибирующую активность бромсодержащих углеводородов. Скорость горения очень чувствительна даже к следам бромводорода. Например, добавление $10^{-4} \%$ HBr изменяет индукционный период воспламенения примерно на 5 %. Максимальное уменьшение этой величины наблюдалось при $[\text{HBr}] \sim 4 \cdot 10^{-4} \%$. Увеличение концентрации до 0,2 % и более приводит к резкому росту периода индукции возгорания. При содержании 1 % HBr период индукции воспламенения составляет примерно 28 с [5].

Данные для CF_3I значительно отличаются от других ингибиторов. В частности, в [5] показано, что даже при очень незначительной концентрации наблюдается резкий индукционный эффект. При содержании $10^{-4} \%$ CF_3I имеет место легкий эффект промотирования, однако по мере увеличения концентрации он превращается в ингибирующий и достигает максимума на уровне 0,045 %. Аналогичная тенденция свойственна и другим иодсодержащим добавкам — CH_3I и HI . Кроме того, эти соединения участвуют в промежуточных стадиях в последовательности реакций, описывающих ингибирующее действие CF_3I .

Таким образом, как видно из результатов расчетов, действительно атомарный бром отщепляется с малой энергией от всех исследованных галогенпроизводных углеводородов. Иод при этом образуется со значительно меньшими энергетическими затратами. Этот результат согласуется с традиционными взглядами на механизм ингибирующего действия подобных веществ. В то же время можно заметить, что энергия деструкции с образованием атомарного фтора и радикала $\text{CF}_3^\bullet$ лишь в 1,5–2 раза выше, что в условиях высокотемпературного режима пламени не имеет принципиального значения. Если сравнивать энергию отщепления фтора, то она превышает аналогичную величину для брома лишь на несколько сотых. Так что эти радикалы и, соответственно, исследуемые вещества могут быть альтернативой запрещенным хладонам. В работе [8] на основе экспериментального и расчетного исследований механизма действия фторсодержащих огнетушащих веществ показано, что действие таких ингибиторов, как CF_3H и C_2F_6 , основывается на образовании в очаге пламени радикала $\text{CF}_3^\bullet$, который затем реагирует с $\text{CH}_3^\bullet$ и атомарным водородом. Таким образом, наши расчеты хорошо согласуются с результатами исследований других авторов.

Для сравнительной характеристики активности радикалов-ловушек для АЦП в табл. 2 приведена рассчитанная методом Хартри–Фока (*ab initio*,

Таблица 2. Энергия взаимодействия хладонов, атомов галогенов и галогенсодержащих радикалов с активными центрами пламени

Активный центр пламени	Энергия разрыва связи E , ккал/моль						
	$\text{CF}_3^{\bullet}$	$\text{CF}_3\text{Br}^{\bullet}$	$\text{CF}_3\text{Cl}^{\bullet}$	$\text{F}^{\bullet}$	$\text{Cl}^{\bullet}$	$\text{Br}^{\bullet}$	$\text{I}^{\bullet}$
$\text{H}^{\bullet}$	96	28,2	28,2	78,0	59,6	61,4	40,1
$\text{OH}^{\bullet}$	72,2	34,5	40,8	47,2	65,5	2,5	10,0
$\text{O}^{\bullet}$	34,5	53,3	59,6	79,4	77,3	19,8	11,4

6-31G*) энергия взаимодействия исследуемых галогенсодержащих ингибиторов, а также продуктов их деструкции с АЦП.

Как видно из данных табл. 2, АЦП “захватываются” с небольшой энергией как молекулами ингибиторов, так и продуктами их разложения. При этом атомы иода и брома взаимодействуют с радикалами с незначительной энергией. Хлор и фтор также достаточно активны, но в меньшей степени. Необходимо отметить активность трифторметильного ра-

дикала по отношению к кислородсодержащим реакционным центрам.

Заключение

В проведенном исследовании были рассчитаны неэмпирическими квантово-химическими методами с базисным набором 6-31G* пути термической деструкции галогенсодержащих соединений, проявляющих огнетушащее действие. Для сравнения был также рассчитан один из запрещенных хладонов CF_3Br . Показано, что наименьшую энергию деструкции имеют бром- и иодсодержащие углеводороды. Этот результат совпадает с традиционными взглядами на механизм ингибирующего действия веществ подобного типа. Деструкция других молекул ингибиторов происходит с несколько большей энергией, но с учетом высокотемпературного режима, в котором предусматривается применение исследуемых веществ, они могут быть альтернативой запрещенным хладагентам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sheinson R. S. Addressing the need for halon replacement // Proceedings of 12th Halon Options Technical Working Conference, May 2, 2002. — Albuquerque, 2002. — P. 46–48.
2. Жартковский В. М., Откидач М. Я., Цанко Ю. В. Техничко-экономические аспекты замены хладонов 114B2 и 13B1 в автоматических установках пожаротушения // Научный вестник УкрНИИПБ. — 2002. — № 2(6). — С. 31–37.
3. Zachariah M. R., Westmoreland P. R., Burgess D. R., Tsang W., Melius C. F. BAC-MP4 predictions of thermochemical data for C_1 and C_2 stable and radical hydrofluorocarbons and oxidized hydrofluorocarbons // J. Phys. Chem. — 1996. — Vol. 100, No. 21. — P. 8737–8747.
4. Burgess D. R., Zachariah M. R., Tsang W., Westmoreland P. R. Key species and important reactions in fluorinated hydrocarbon flame chemistry // ACS Symp. Ser. — 1995. — Vol. 611, Chapter 25. — P. 322–340.
5. Burgess D. R., Zachariah M. R., Tsang W., Westmoreland P. R. Thermochemical and chemical kinetic data for fluorinated hydrocarbons // Prog. Energy Combust. Sci. — 1996. — Vol. 21. — P. 453–529.
6. Fallon G. S. Chemical effects of CF_3H in extinguishing counterflow $\text{CO}/\text{Air}/\text{H}_2$ diffusion flames // Proceedings of 26th Combustion Institute Symposium (International) on Combustion, July 28 – August 2, 1999. — Neapoli, Italy, Combustion Institute; Pittsburgh, PA, 1999. — Vol. 1, No. 6. — P. 1395–1403.
7. Namrata Vora, Jia Eng Siow, Normand M. Laurendeau. Chemical scavenging activity of gaseous suppressants by using laser-induced fluorescence measurements of hydroxyl // Combustion and Flame. — 2001. — Vol. 126. — P. 1393–1401.
8. Linteris G. T., Burgess D. R., Babushok V., Zachariah M., Tsang W., Westmoreland P. Inhibition of premixed methane-air flames by fluoroethanes and fluoropropanes // Combustion and Flame. — 1998. — Vol. 113, No. 1–2. — P. 164–180.
9. Yu H., Kennedy E. M., Mackie J. C., Dlugogorski B. Z. Studies of the reaction of CHF_3 with methane // Proceedings of 16th Halon Options Technical Working Conference, May 16–18, 2006. — Albuquerque, NM, 2006. — P. 1–15.
10. Кукуева В. В., Кириллов А. А., Лобанов В. В., Чуйко О. О. Теоретическое исследование активности радикалов, привитых к поверхности кремнезема // Химия, физика и технология поверхности : межведом. сб. науч. тр. — Киев : Наукова думка, 2006. — Вып. 11–12. — С. 154–164.
11. Kukueva V. V., Kirillov A. A., Grebenyuk A. G., Lobanov V. V. Theoretical analysis of thermal destruction of dimethyl phosphates immobilized on dispersed silica surface // Chemistry, Physics and Technology of Surfaces. Issues 7–8. — Киев : Изд. дом “КМ Академия”, 2002. — С. 158–162.

12. Немухин А. В., Григоренко Б. Л., Грановский А. А. Молекулярное моделирование с программой PC GAMESS: от двухатомных молекул до ферментов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2: Химия. — 2004. — Т. 45, № 2. — С. 75–102.
13. Eden S., Limão-Vieira P., Hoffmann S. V., Mason N. J. VUV photoabsorption in CF₃X (X=Cl, Br, I) fluoroalkanes // Chemical Physics. — 2006. — Vol. 323, Issues 2–3. — P. 313–333.

Материал поступил в редакцию 14 октября 2013 г.

English

QUANTUM-CHEMICAL RESEARCH OF HALOGEN CONTAINING HYDROCARBONS WHICH HAVE FIRE EXTINGUISHING EFFECT

KUKUEVA V. V., Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Combustion Processes, Fire Safety Academy named after Chernobyl Heroes (Onoprienko st., 8, Cherkassy, 18034, Ukraine; e-mail: kukueva@yahoo.com)

ABSTRACT

Purpose. Development of a theoretical approach to study the mechanism of the inhibition effect of extinguishing agents.

Methodology. In most cases, the study of flame retardants experimenters can only ascertain the presence or absence of a fire extinguishing effect. Selected in the present study research method can penetrate deeper into the details of complex physical-chemical process of extinguishing the fire. The system of inhibition is considered at the level of elementary chemical reactions using quantum-chemical methods. The energy of interaction between radicals is estimated as the energy difference between the reaction products and reactants, calculated by the Hartree-Fock approximation using the basis set 6–31G*.

Results. Obtained by cleavage of the bond energies of the halogen atoms, which are the “traps” for the active centers of the flame from a similar in structure to tetrafluoromethane halogenated derivatives. It is shown that the cleavage of atomic iodine occurs with energy at more than 10 kcal, as compared to the energy of formation of a bromine atom from trifluorobrominemethane prohibited by the Montreal Protocol.

Application of the results. The results can be used to reveal the mechanism of inhibition combustion by halogenated substances.

Keywords: quantum-chemical calculation; flame retardant; substitute refrigerants; active centers of the flame.

REFERENCES

1. Sheinson R. S. Addressing the need for halon replacement. *Proceedings of 12th Halon Options Technical Working Conference, May 2, 2002*. Albuerque, 2002, pp. 46–48.
2. Zhartovskiy V. M., Otkidach M. Ya., Tsapko Yu. V. Tekhniko-ekonomicheskiye aspekty zameny khladonov 114B2 i 13B1 v avtomaticheskikh ustanovkakh pozharotusheniya [Technical and economic aspects of replacement of 114B2 and 13B1 halodons replacement in the automatic equipments of fire extinguishing]. *Nauchnyy vestnik UkrNIIPB — Scientific Bulletin of Ukrainian Research Institute of Fire Safety*, 2002, vol. 6, no. 2, pp. 31–37.
3. Zachariah M. R., Westmoreland P. R., Burgess D. R., Tsang W., Melius C. F. BAC-MP4 predictions of thermochemical data for C₁ and C₂ stable and radical hydrofluorocarbons and oxidized hydrofluorocarbons. *J. Phys. Chem.*, 1996, vol. 100, no. 21, pp. 8737–8747.
4. Burgess D. R., Zachariah M. R., Tsang W., Westmoreland P. R. Key species and important reactions in fluorinated hydrocarbon flame chemistry. *ACS Symp. Ser.*, 1995, vol. 611, chapter 25, pp. 322–340.
5. Burgess D. R., Zachariah M. R., Tsang W., Westmoreland P. R. Thermochemical and chemical kinetic data for fluorinated hydrocarbons. *Prog. Energy Combust. Sci.*, 1996, vol. 21, pp. 453–529.
6. Fallon G. S. Chemical effects of CF₃H in extinguishing counterflow CO/Air/H₂ diffusion flames. *Proceedings of 26th Combustion Institute Symposium (International) on Combustion, July 28 – August 2, 1999*. Neapoli, Italy, Combustion Institute; Pittsburgh, PF, 1999, vol. 1, no. 6, pp. 1395–1403.

7. Namrata Vora, Jia Eng Siow, Normand M. Laurendeau. Chemical scavenging activity of gaseous suppressants by using laser-induced fluorescence measurements of hydroxyl. *Combustion and Flame*, 2001, vol. 126, pp. 1393–1401.
8. Linteris G. T., Burgess D. R., Babushok V., Zachariah M., Tsang W., Westmoreland P. Inhibition of premixed methane-air flames by fluoroethanes and fluoropropanes. *Combustion and Flame*, 1998, vol. 113, no. 1–2, pp. 164–180.
9. Yu H., Kennedy E. M., Mackie J. C., Dlugogorski B. Z. Studies of the reaction of CHF_3 with methane. *Proceedings of 16th Halon Options Technical Working Conference, May 16–18, 2006*. Albuquerque, NM, 2006, pp. 1–15.
10. Kukueva V. V., Kirillov A. A., Lobanov V. V., Chujko O. O. Teoreticheskoye issledovaniye aktivnosti radikalov, privitykh k poverkhnosti kremnezema [Theoretical research of immobilized on the silica surface radicals]. *Khimiya, fizika i tekhnologiya poverkhnosti: mezhvedom. sb. nauch. tr.* [Chemistry, Physics and Technology of Surface. Collection of Scientific Papers]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 2006, issue 11–12, pp. 154–164.
11. Kukueva V. V., Kirillov A. A., Grebenyuk A. G., Lobanov V. V. Theoretical analysis of thermal destruction of dimethyl phosphates immobilized on dispersed silica surface. *Chemistry, Physics and Technology of Surfaces. Collection of Scientific Papers*, issues 7–8. Kiev, KM Akademiya Publ., 2002, pp. 158–162.
12. Nemukhin A. V., Grigorenko B. L., Granovsky A. A. Molekulyarnoye modelirovaniye s programmoy PC GAMESS: ot dvukhatomnykh molekul do fermentov [Molecular modeling by using the PC GAMESS program: from diatomic molecules to enzymes]. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 2: Khimiya — Moscow University Bulletin. Series 2: Chemistry*, 2004, vol. 45, no. 2, pp. 75–102.
13. Eden S., Limão-Vieira P., Hoffmann S. V., Mason N. J. VUV photoabsorption in CF_3X ($\text{X}=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) fluoroalkanes. *Chemical Physics*, 2006, vol. 323, issues 2–3, pp. 313–333.



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

Пенообразователи

ШТОРМ



Точный расчет на безопасность!

РЕКЛАМА

Шторм-М — высокоэффективный пленкообразующий синтетический фторсодержащий пенообразователь специального назначения.

Основная область применения: химическая и нефтехимическая промышленность, аэродромы, а также везде, где необходимо за короткое время обеспечить тушение больших площадей с розливом нефти или нефтепродуктов либо предотвратить возгорание горючих жидкостей.

ГЕФЕСТ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 925 51 31

www.gefestnpk.ru

www.shtpena.ru



2-й международный отраслевой форум-выставка

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ XXI ВЕКА. ПОЖАРНАЯ И ОХРАННАЯ АВТОМАТИКА

23-26 сентября 2014 года
Москва, МВЦ «Крокус Экспо»
II павильон, зал №9

13-я международная отраслевая выставка

«Пожарная безопасность XXI века. Пожарная и охранная автоматика»

- Пожарная безопасность отраслевых направлений экономики и жизнедеятельности
- Пожарная техника, оборудование, системы защиты и спасения
- Пожарная и охранная автоматика
- Системы и средства охраны периметра и объекта
- Услуги в области пожарной безопасности
- Противопожарная пропаганда

Научно-практическая деловая программа по отраслям экономики

«Инновационные технологии в развитии средств и систем пожарной безопасности и систем охранной автоматике»

Конкурсы:

- «Лучшее техническое решение в области пожарной безопасности и охранной автоматике»
- «Лидер продаж продукции пожарно-технического назначения»
- «Лучшие материалы и наглядные пособия по противопожарной пропаганде и обучению мерам пожарной безопасности»



РЕКЛАМА

12+

Дирекция выставки: +7 (495) 727-25-98, fireexpo@crocus-off.ru, www.fireexpo.ru

Организатор:
Крокус Экспо
Международный выставочный центр

Генеральный
информационный партнёр:
**Индустрия
Безопасности**

Официальный
медиа-партнёр:
МЦ МЕДИА

Главный
Интернет-партнёр:
БЕЗ.РУ

Главный
медиа-партнёр:
**Издательство
ПОЖНАУКА**

Главный информационный
партнёр:
СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Региональные
медиа-партнёры:
БЕЗОПАСНОСТЬ

112 Единая служба спасения

УДК 614.841.33

КТО ЗАЩИТИТ ПОЖАРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ?

© **В. С. ТИМОШИН**, инженер пожарной безопасности, член-корреспондент Всемирной академии наук комплексной безопасности, эксперт в области пожарной безопасности (Россия, г. Москва; e-mail: vladi-timoshin@yandex.ru)

В августе – сентябре 2013 г. проектным сообществом по инициативе Национального объединения проектировщиков широко обсуждались изменения, которые планируется внести в “Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию”, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 г. № 87 (далее — Положение).

На специальной интернет-площадке, на базе информационного портала объединения, было вынесено на обсуждение немало проблем, связанных с реализацией Положения, и предложены решения по их устранению. К сожалению, правила работы на интернет-площадке не предусматривали изменение общей структуры построения разделов Положения и содержащихся в нем общих требований для всех видов объектов капитального строительства. Можно было вносить только изменения, связанные с уточнением неоднозначных терминов и определений, а также исключать излишние требования и вводить новые в связи с принятыми решениями о внесении изменений в градостроительное законодательство.

В итоге, новая редакция разд. 9 проекта “Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности” почти не отличается от старой. Обновление раздела настолько минимально, что складывается впечатление, что он оставлен в новой редакции Положения не столько с целью обеспечить пожарную безопасность проектируемого объекта, сколько с целью представить в экспертные органы полный комплект проектной документации. Ведь данный раздел, по мнению некоторых проектировщиков и заказчиков, просто не нужен, так как он фактически дублирует технические решения других разделов и его разработка только увеличивает стоимость проектирования.

В настоящее время разд. 9 “Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности” не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к нему как к разделу, задачей которого является построение системы обеспечения пожарной безопасности. Его задача, к сожалению, сводится в основном к констатации уже принятых ранее в проекте конструктивных, объемно-планировочных, инженерных и других решений.

Так, например, и в разд. 2 “Схема планировочной организации земельного участка” проекта Положения представлено обоснование размещения

зданий и сооружений, и в разд. 9 дается обоснование противопожарных расстояний между зданиями, сооружениями. Требования к описанию и обоснованию принятых конструктивных и объемно-планировочных решений изложены как в разделе по противопожарным мероприятиям, так и в разд. 3 “Архитектурные решения”, и в разд. 4 “Конструктивные и объемно-планировочные решения” проекта Положения. Названия разделов несколько отличаются друг от друга, но задачи, которые они решают, одинаковы.

Да и структура построения разд. 9, и содержание его пунктов также вызывают некоторое недоумение. Как можно сначала давать описание противопожарных расстояний между зданиями, решений по наружному пожаротушению и по устройству подъездов и проездов, а затем приводить обоснование степени огнестойкости здания, класса его конструктивной пожарной опасности и сведения о категориях по взрывопожарной и пожарной опасности производственных зданий и помещений? Следуя логике документа, разработчику только и остается, что использовать уже принятые ранее в проекте решения, а уж доказывать их правомерность он будет потом.

В разд. 9 проекта Положения есть и абсолютно абстрактный пункт, связанный с описанием и обоснованием проектных решений по обеспечению безопасности людей при возникновении пожара. Безопасность — понятие очень емкое, включающее в себя и применение основных строительных конструкций, и объемно-планировочные решения, и устройство эвакуационных путей, и применение систем противопожарной защиты. На каком из этих способов разработчик раздела должен остановиться? Значит, опять переписывать ранее изложенные мероприятия, включая мероприятия по обеспечению безопасности маломобильных групп населения, или все-таки обосновывать принятые решения по эвакуационным путям и выходам, что было бы правильно и логично?

Далее. Непонятно, зачем в разделе перечислять мероприятия по обеспечению безопасности подразделений пожарной охраны при ликвидации пожара, которые регламентируются руководящими документами пожарной охраны? Специалистам понятно, что пункт сформулирован некорректно, но как

объяснить разработчикам, что необходимо не переписывать правила техники безопасности при тушении пожара, а представить перечень решений по обеспечению деятельности подразделений, включающий в себя и доступ пожарных на кровлю здания, и необходимость устройства пожарных лифтов, и т. п.?

Да и графическая часть раздела по противопожарным мероприятиям не выдерживает никакой критики. Зачем представлять ту же самую схему планировочной организации земельного участка, которая приведена в графической части разд. 2 проекта, только назвав ее иначе — “ситуационным планом”? Не хотелось бы думать, что это придумано в угоду некоторым экспертам, не желающим “копаться” в разных разделах проекта? Какую цель преследовали разработчики раздела, требуя наличие схем не только эвакуации людей, но и материальных ценностей? Какая может быть связь между процессом организованного самостоятельного движения людей из помещения, в котором произошел пожар, и эвакуацией материальных ценностей, которая подразумевает под собой процесс их вывоза из мест, находящихся под угрозой нападения противника или стихийного бедствия (БСЭ. 1969–1978). Абсолютно недопустимо объединение этих понятий, несущих совершенно различную смысловую нагрузку. Для этого в разд. 12 (п. 32 проекта Положения) и предусмотрена возможность разработки либо перечня мероприятий по гражданской обороне, либо мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Кстати, и требования Федерального закона № 123-ФЗ [1] (далее — ФЗ 123) направлены в первую очередь на защиту людей, а потом уже — материальных ценностей. Согласно [1] для обеспечения эвакуации людей должны быть предусмотрены эвакуационные пути, удовлетворяющие требованиям безопасной эвакуации, с указанием их на схемах.

Все вышеперечисленное и то, что в учреждениях экспертизы данный раздел в большинстве случаев рассматривается не как самостоятельный (подчас его даже не читают, а лишь проверяют на наличие в составе проекта), а как приложение к другим разделам, определяет отношение к противопожарным мероприятиям как к совершенно второстепенному вопросу. И наличие его в проекте Положения определяется лишь тем, что необходимость его разработки регламентирована частью 12 ст. 48 Градостроительного кодекса [2]. Не будет в нем такого требования — не будет и раздела! По всей видимости, все и идет именно к этому. Если раздел по противопожарным мероприятиям и не будет окончательно исключен из состава проектной документации, то будут созданы условия, ограничивающие необходимость его разработки. К сожалению, уже вы-

сказываются предложения об исключении части 12 ст. 48 из Градостроительного кодекса [2], и Круглый стол, посвященный теме “Требования к составу и содержанию разделов проектной документации: итоги общественных обсуждений”, прошедший 2 октября 2013 г. в рамках Конгресса Национального объединения проектировщиков на форуме “RusReal-Expo 2013”, в работе которого приняли участие более 120 представителей проектного сообщества, служит тому подтверждением.

Более того, п. 7 разд. I проекта Положения уже определяет возможность разработки противопожарных мероприятий только для объектов капитального строительства, финансируемых полностью или частично за счет средств соответствующих бюджетов, как будто объекты, финансируемые из других источников, в противопожарной защите не нуждаются, и там не могут находиться граждане России. Во всех остальных случаях необходимость и объем разработки указанных разделов будут определяться заказчиком и указываться в задании на проектирование.

Действительно, для чего лишний раз обременять заказчика дополнительными тратами, связанными с разработкой раздела, который мало чем отличается от других разделов проекта? То, что раздел направлен на построение системы обеспечения пожарной безопасности, охватывающей все разделы проекта, уже не так важно. Тут и без противопожарных требований не знаешь, куда деваться от проблем, связанных и с согласованием проекта, и с получением разрешения на строительство, и с подключением к инженерным сетям!

Не изменив в самое ближайшее время отношение к вопросам проектирования пожарной безопасности объектов капитального строительства, мы не сможем изменить и отношение к самой пожарной безопасности. Но сначала следовало бы изменить название раздела, которое должно соответствовать подпункту 9 части 12 ст. 48 Градостроительного кодекса [2]: “Перечень мероприятий по обеспечению пожарной безопасности” (далее — Перечень).

Перечень предполагает совершенно иной подход к построению системы проектирования противопожарной защиты, и в нем, на мой взгляд, должны быть указаны требуемые (а не уже “принятые”) противопожарные мероприятия при проектировании объекта. Данный документ должен разрабатываться на конкретный объект, проектируемый с учетом действующих нормативно-правовых документов, и в нем совершенно ни к чему переписывать основные положения и требования нормативно-правовых документов, повторять всем известные азбучные истины (например, что такое пожарная безопасность,

как она должна быть обеспечена и т. п.). Перечень по своей сути должен быть предельно сжатым документом, охватывающим при этом все разделы проекта и позволяющим проектировщикам избежать ошибок при выборе проектных решений.

Логичнее всего было бы законодательно установить, что Перечень должен разрабатываться два раза: первый раз — в виде задания в составе задания на проектирование, второй раз — в виде констатирующего перечня, подтверждающего правильность принятых итоговых проектных решений, в составе проектной документации.

Первое, с чего должен начинаться Перечень, — это требования к степени огнестойкости здания, классу его конструктивной пожарной опасности и категории по взрывопожарной и пожарной опасности (если это производственное здание). Затем должны следовать требования к противопожарным расстояниям, проездам, подъездам к зданию, наружному пожаротушению, конструктивным решениям (пределы огнестойкости основных строительных конструкций здания и классы их пожарной опасности), объемно-планировочным решениям, путям эвакуации и эвакуационным выходам, системам противопожарной защиты (включая перечисление помещений, подлежащих оборудованию системами сигнализации или тушения, и порядок взаимодействия с другими инженерными системами объекта), инженерным системам. При необходимости в составе Перечня могут быть указаны дополнительные мероприятия, направленные на обеспечение пожарной безопасности опасных и технически сложных объектов или помещений. Графическая часть раздела может включать не только схемы эвакуации людей из здания с указанием границ пожарных отсеков, но и структурные схемы систем противопожарной защиты.

Противопожарные мероприятия как вид проектной документации (прошу не путать с Перечнем) все-таки должны разрабатываться только на уникальные, особо опасные и технически сложные объекты, проектируемые по Специальным техническим условиям (СТУ).

Необходимость разработки противопожарных мероприятий должна оговариваться в задании на проектирование. В этом разделе должны быть прописаны требования, изложенные в СТУ, и требования, приведенные в Перечне, а также присутствовать все необходимые расчеты (огнестойкости конструкций, категорий и т. п.), если это опять же оговорено в задании на проектирование.

Мне кажется, что такой подход к вопросам разработки противопожарной защиты будет более понятен и заказчикам с проектировщиками, и строителям. Конечно, сильно повлиять на процедуру

согласования он не сможет, но хотя бы сделает ее более понятной.

Однако говорить сегодня только о том, каким должен быть раздел по противопожарным мероприятиям в составе проекта, не обращая внимания на ситуацию, сложившуюся в настоящее время в системе противопожарного нормирования в области градостроительной деятельности, было бы просто бессмысленно! Одним изменением подхода к вопросам проектирования пожарной безопасности ситуацию не изменить.

Сколько уже копий было сломано по этому поводу, сколько сказано, а “воз и ныне там”. Как была система двойных стандартов в области пожарной безопасности [1, 3], так она и остается. Как не было между МЧС России и Минрегионом России согласованности в решении вопросов, связанных и с взаимодействием при разработке нормативных документов, содержащих требования пожарной безопасности, и с определением критериев, по которым обеспечивается пожарная безопасность, так ее и нет!

Печально то, что и учреждения экспертизы не видят в этом ничего плохого, так как, по их мнению, для подтверждения принятых решений по обеспечению пожарной безопасности вполне достаточно использовать способы, перечисленные в части 6 ст. 15 [3] (письмо ФАУ “Главгосэкспертиза России” от 15.07.2013 г. № 1-7/1585). Вот только непонятно, какое отношение к пожарной безопасности имеет моделирование сценариев возникновения опасных природных процессов и техногенных воздействий или оценка риска возникновения опасных природных процессов и техногенных воздействий?

Никто не спорит, что без расчетов и (или) испытаний, также предусмотренных в качестве подтверждающих способов, невозможно определить предел огнестойкости строительных конструкций либо подобрать насосы для систем автоматического пожаротушения и противопожарного водопровода или вентиляторы для систем противодымной защиты. Но каким расчетом и (или) испытаниями можно обосновать принятые объемно-планировочные решения (например, устройство тамбура-шлюза перед лифтом в подвале); необходимость устройства и выбор систем противопожарной защиты (например, какую систему предусмотреть в здании — систему автоматического пожаротушения или только систему пожарной сигнализации); тип системы оповещения о пожаре; мероприятия, обеспечивающие деятельность пожарных подразделений; решения по эвакуации людей при пожаре (если выполнены требования нормативных документов к ним) и т. п.? Это можно сделать только ссылками на нормативные документы, где более и менее четко прописаны критерии, по которым они определяются.

К сожалению, согласно п. 3 проекта Положения, обязывающему обосновывать расчетами все принимаемые проектные решения, одними ссылками обойтись невозможно. Вот и думай, что делать в этой ситуации! Самое интересное, что утвержденных методик, позволяющих обосновать расчетами “все и вся”, нет, а проводить по каждому мероприятию испытание — это уж слишком. Противопожарные мероприятия будут просто “золотыми”.

Самое удивительное, что все это уже не смущает ни проектировщиков, ни заказчиков. Какой смысл доказывать в той же экспертизе, что пожарные своды правил противоречат строительным сводам правил, что ты не нарушаешь закон, если не разрабатываешь СТУ при отступлениях от пожарных СП, а считаешь пожарный риск, как прописано в том же ФЗ 123 [1]?

Пока ты будешь пытаться что-то доказать, все сроки проектирования пройдут со всеми вытекающими отсюда последствиями, связанными, естественно, с финансовыми потерями, и немаленькими. Зачем ругаться, доказывать — лучше сделать, как говорит эксперт! Нужны СТУ — сделаем СТУ, и неважно, что требования к тем же самым multifunctional комплексам, посольствам или зданиям, в которых предусмотрено размещение дизель-генераторной, имеются в действующих нормативных документах. Скажут — сделаем! Надо считать пожарный риск — посчитаем! Надо указать, что одним из параметров, характеризующих противопожарную преграду, будет потеря несущей способности, — укажем! А то, что на стадии строительства мы не сможем обеспечить это требование, к делу мало относится! Надо прописать конкретный огнезащитный состав для строительных конструкций — пропишем! Подумаешь, разве это проблема, если к началу строительства данный состав или морально устареет, или будет существенно дороже новых появившихся аналогов? Главное — сегодня согласовать! Мы за ценой не постоим!

Разве это правильно? Нет и еще раз нет! Просто законы сегодня таковы, что позволяют фактически любому чиновнику, связанному с вопросами согласования СТУ, проекта, надзора за стройкой, диктовать свои условия. Разные законы, разные своды правил. Да что там разные законы, тут и в отдельных нормативных документах по пожарной безопасности, выполнение которых подтверждает выполнение требований ФЗ 123 [1], прописаны такие требования, что просто диву даешься. Так, в вышедшем совсем недавно и прошедшем регистрацию в установленном порядке нормативном документе СП 4.13130.2013 [4] прописано, что общежития и гостиницы квартирного типа, в том числе с апартаментами, относятся к жилым многоквартирным домам, а в ст. 32 [1] такое понятие просто отсутствует. Там есть гостиницы и общежития (один класс) и жилые дома (другой класс). Проектировщики, естественно, будут использовать положения СП [4], так как для жилых домов в отличие от гостиниц и общежитий при высоте более 50 м не надо разрабатывать СТУ; при высоте до 75 м и определенной площади допускается устройство одного эвакуационного выхода с этажа; при высоте 30 м и более вообще не надо предусматривать устройство систем пожаротушения. Теперь представьте, что ждет заказчика и проектировщиков, когда они придут в учреждение экспертизы с документацией на гостиницу квартирного типа, за проектированную как жилой дом!

Почему проектировщики должны быть заложниками фактически искусственно созданной ситуации? Разве нельзя, наконец, выработать механизм, определяющий “правила игры” для всех участников строительного процесса (инвестор, заказчик, проектировщик, эксперт, строитель и т. п.), чтобы они четко понимали, что делать и как быть.

Не хотелось бы, чтобы вопрос “Кто защитит пожарную безопасность?” так и остался риторическим!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одоб. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации : Федер. закон № 190-ФЗ от 29.12.2004 г.; принят Гос. Думой 22.12.2004 г.; одоб. Сов. Федерации 24.12.2004 г.; введ. 29.12.2004 г. // Российская газета. — 2004. — № 290; Парламентская газета. — 2005. — № 5–6.
3. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ; принят Гос. Думой 23.12.2009 г.; одоб. Сов. Федерации 25.12.2009 г. // Собр. законодательства РФ. — 04.01.2010 г. — № 1, ст. 5.
4. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям : приказ МЧС России от 24.04.2013 г. № 288; зарег. Росстандартом 18.06.2013 г.; введ. 24.06.2013 г. — М., 2013.

Материал поступил в редакцию 29 октября 2013 г.

**ВОПРОС:**

Для обеспечения пожаровзрывобезопасности на объекте ст. 82, п. 4 Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 10.07.2012 г.) предусматривает установку устройств защитного отключения (УЗО) в электрических цепях помещений и зданий. При этом в нормативно-технической литературе встречается такой термин, как “выключатель автоматический, управляемый дифференциальным током”. Какую связь имеет данный термин с УЗО?

ОТВЕТ:

Термин “выключатель автоматический, управляемый дифференциальным током” встречается в серии ГОСТ Р 51326, 51327. Под понятием “дифференциальный ток” подразумевают ток утечки, который стекает непосредственно в землю или на электропроводящие части (металлические основания, корпуса электроприборов) из электрической цепи. Выделяют две разновидности автоматических выключателей, управляемых дифференциальным током: 1) без встроенной защиты от сверхтоков — ВДТ [1]; 2) со встроенной защитой от сверхтоков — АВДТ [2]. Говоря о сверхтоках, имеют в виду токи перегрузки и короткого замыкания в электрических цепях. В разговорной речи для обозначения приведенных выше разновидностей автоматических выключателей используют слово “дифавтоматы”, подразумевая при этом, что они состоят из двух устройств — автоматического выключателя с тепловым, электромагнитным или комбинированным (термомагнитным) расцепителем и УЗО. При этом в названии на первое место ставят автоматический выключатель.

В то же время в нормативных документах можно встретить такие термины, как “устройства защиты от токов утечки” [3] или “устройства защитного отключения, управляемые дифференциальным током (УЗО-Д)” [4]. Из определения данных терминов можно сделать вывод, что УЗО выполняют ту же задачу, что и автоматические выключатели, управляемые дифференциальным током. УЗО также разделяются на несколько видов в зависимости от наличия защиты от сверхтоков, а именно:

- 1) УЗО без встроенной защиты от сверхтоков;
- 2) УЗО со встроенной защитой от сверхтоков;
- 3) УЗО со встроенной защитой только от токов перегрузки;
- 4) УЗО со встроенной защитой только от токов короткого замыкания.

В связи с этим различия в терминологии, обозначающей одно и то же устройство, зачастую вводят в заблуждение специалистов, которым приходится гадать,

какое именно изделие подразумевается в том или ином нормативном документе.

Если же рассматривать зарубежные стандарты, то можно обнаружить, что все устройства, включающие в свой состав УЗО, имеют общее название — RCDs (*residual current protective device*) [4], т. е. защитное устройство дифференциального (остаточного) тока (УДТ). Они разделяются на следующие виды:

1) RCCB (*residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection*), т. е. защитное устройство (автоматический выключатель) дифференциального тока без встроенной защиты от сверхтоков [1];

2) RCBO (*residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection*), т. е. защитное устройство (автоматический выключатель) дифференциального тока со встроенной защитой от сверхтоков [2], состоящее из:

a) MCB (*miniature circuit breaker*) — миниатюрного автоматического выключателя;

b) RCD — непосредственно самого УЗО;

3) PRCD (*portable residual current protective device*), т. е. переносное защитное устройство дифференциального тока;

4) SRCD (*fixed socket outlets residual current protective device*), т. е. защитное устройство дифференциального тока, встроенное в розетку;

5) ELR (*earth leakage protection relay*), т. е., дословно, реле защиты от токов утечки на землю (реле дифференциального тока).

Виды устройств дифференциального тока RCCB и RCBO — это аналоги ВДТ и АВДТ и в то же время аналоги УЗО без встроенной защиты от сверхтоков и УЗО со встроенной защитой от сверхтоков. Поэтому в отличие от российских ГОСТов в зарубежной нормативной литературе никакой путаницы с терминами нет.

Следует отметить, что в ГОСТах встречается также понятие “объединенное устройство” или “*r. c. unit*” (*residual current unit*) [6], т. е. устройство, состоящее из УЗО без встроенной защиты от сверхтоков и автоматического выключателя, являющееся аналогом АВДТ. Такие объединенные устройства зачастую изготавливаются в отдельных корпусах и соединяются в единое целое в заводских условиях или на месте непосредственного монтажа.

Реле дифференциального тока, или ELR, реже используется в проектно-монтажной практике, но достаточно часто встречается в каталогах фирм-производителей. По сути, это реле представляет собой УДТ, у которого имеется возможность регулировки чувствительности и времени задержки срабатывания, есть световая индикация состояния, но отсутствует трансформатор тока (поставляется отдельно).

Из представленного выше материала видно, что в ГОСТах одни и те же устройства обозначены различными терминами, чего быть не должно. Даже

* Срок действия ГОСТ Р 51329–99 [4] истек 1 января 2014 г. Данный ГОСТ заменен на ГОСТ Р 51329–2013 [5], который начнет действовать с 1 июля 2014 г.

в переизданных стандартах [2, 5, 6] терминология сохранена неизменной. Это указывает на ненадлежащее качество нормативной литературы, издаваемой в нашей стране в данной области.

Вывод

Термин “УЗО” (правильнее “УДТ”) является общим обозначением всей линейки устройств, которые реагируют на дифференциальные токи (токи утечки) и могут иметь дополнительные устройства защиты от токов перегрузки или короткого замыкания (автоматические выключатели). Поэтому термин “выключатель автоматический, управляемый дифференциальным током” является синонимом термина “УЗО”, но при условии, что речь идет о ВДТ. В том случае, если подразумевается АВДТ, такое устройство является одним из видов УЗО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51326.1–99. Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний. — Введ. 01.07.2000 г. — М. : Госстандарт, 2000.
2. ГОСТ Р 51327.1–2010. Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверх-

токов. Часть 1. Общие требования и методы испытаний. — Введ. 01.01.2012 г. — М. : Стандартинформ, 2012.

3. ГОСТ 31612–2012. Устройства защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические требования. — Введ. 15.02.2013 г. — М. : Стандартинформ, 2013.

4. ГОСТ Р 51329–99. Совместимость технических средств электромагнитная. Устройства защитного отключения, управляемые дифференциальным током (УЗО-Д), бытового и аналогичного назначения. Требования и методы испытаний. — Введ. 01.01.2001 г. — М. : Госстандарт, 2001.

5. ГОСТ Р 51329–2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Устройства защитного отключения, управляемые дифференциальным током (УЗО-Д), бытового и аналогичного назначения. Требования и методы испытаний. — Введ. 01.07.2014 г. — М. : Стандартинформ, 2014.

6. ГОСТ Р МЭК 60755–2012. Общие требования к защитным устройствам, управляемым дифференциальным (остаточным) током. — Введ. 01.01.2013 г. — М. : Стандартинформ, 2013.

Ответ подготовили сотрудники кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России: канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ В. Н. ЧЕРКАСОВ; старший преподаватель А. С. ХАРАМЕНКОВ



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, организации-производителях.

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

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

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

Статьи с DOI:

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

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

Статьи из периодического издания (сборника трудов):

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

Материалы конференций:

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalina I. Z., Mukhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proyektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s 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, черная белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо создать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций не приемины.

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

6. К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

7. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

8. Плата за публикацию работ с аспирантов не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,
В. Н. Веревкин, В. А. Пехотилов, А. И. Рябилов

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.

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

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

Обеспечение пожарной безопасности электроустановок



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

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



**Web-сайт: firepress.ru
Эл. почта: mail@firepress.ru
Тел.: (495) 228-09-03**

- 1 **Свод правил. Системы противопожарной защиты** (электронная версия). — 2011. Цена 500 руб.
- 2 **Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"**. — 2010. — 150 с. Цена 220 руб.
- 3 АНТОНЕНКО А. А., БУЦЫНСКАЯ Т. А., ЧЛЕНОВ А. Н. **Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения объектов**: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с. — ISBN 978-5-91444-017-3. Цена 380 руб.
- 4 БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Моделирование пожаров и взрывов**. — 2000. — 492 с. Цена 540 руб.
- 5 ГОРБАНЬ Ю. И. **Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране**. — 2013. — 352 с.: ил. — ISBN 978-591444-023-8. Цена 450 руб.
- 6 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ЗАГОРСКИЙ Д. О. **Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности**. — 2010. — 118 с. — ISBN 978-5-91444-015-9. Цена 250 руб.
- 7 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие. — 2011. — 320 с. — ISBN 978-591444-021-X. Цена 350 руб.
- 8 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие [Электронная версия]. — 2011. Цена 300 руб.
- 9 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огнезащиты**. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-010-4. Цена 540 руб.
- 10 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огне- и биозащиты**. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с. БЕСПЛАТНО.
- 11 КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ГРОМОВОЙ В. Ю. **Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение**. — 2010. — 94 с. — ISBN 978-5-91444-014-02. Цена 140 руб.
- 12 ПИЛЮГИН Л. П. **Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций**. — 2000. — 224 с.: ил. — ISBN 5-901283-03-1. Цена 240 руб.
- 13 ПИЛЮГИН Л. П. **Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов**. — 2010. — 380 с. — ISBN 978-5-91444-016-6. Цена 450 руб.
- 14 СМЕЛКОВ Г. И., ЧЕРКАСОВ В. Н., ВЕРЕВКИН В. Н., ПЕХОТИКОВ В. А., РЯБИКОВ А. И. **Электроустановки во взрывопожароопасных зонах**: справочное пособие. — 2012. — 222 с. — ISBN 978-5-91444-022-X. Цена 300 руб.
- 15 ЧЕРКАСОВ В. Н., ЗЫКОВ В. И. **Обеспечение пожарной безопасности электроустановок**: учебное пособие. — 2010. — 406 с. — ISBN 978-5-91444-020-3. Цена 470 руб.

СУПЕРСКИДКИ

- 1 СОБУРЬ С. В. **Заполнение проемов в противопожарных преградах**: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с. — ISBN 5-98629-005-4. Цена 90 руб.
- 2 СОБУРЬ С. В. **Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий**: справочник. — 2005. — 88 с. — ISBN 5-98629-004-6. Цена 36 руб.
- 3 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ГРАЧЕВ В. А. **Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро**: учебное пособие. — 2007. — 383 с. — ISBN 5-903049-09-5. Цена 220 руб.
- 4 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Леса, торфяники, лесосклады**. — 2007. — 358 с. — ISBN 5-903049-12-5. Цена 220 руб.
- 5 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов**: учебное пособие. — 2007. — 325 с. — ISBN 5-903049-11-7. Цена 220 руб.

■ Адрес: 121352, г. Москва, а/я 43. Заказ книг: тел.: (495) 228-09-03, 8-909-940-01-85; e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru; www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

- В бланке заказа на приобретение книг просьба указать:
- 1) название организации полностью;
 - 2) реквизиты (ИНН/КПП обязательно);
 - 3) наименование и количество заказываемой литературы;
 - 4) почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо;
 - 5) способ доставки: самовывоз или по почте.

■ **ВНИМАНИЕ!!!** Цены указаны без стоимости доставки, которая составляет 25 % стоимости заказа.

■ **Постоянным покупателям предоставляются скидки!**

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 1-е полугодие 2014 г.

**Подписка на полугодие включает в себя
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.
Стоимость полугодовой подписки составляет 4950 руб. (НДС — 0 %).**



**ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

КУПОН '2014

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (1-е полугодие 2014 г.)	4950		

- ☐ Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.
В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим прислать также карточку Вашей организации. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru в отдел распространения.
- ☐ Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810400000000555
БИК 044525555
Главный редактор — *Корольченко Александр Яковлевич*

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 8-909-940-01-85**

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

через ООО “Издательство “Пожнаука”;
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;
через агентство “АПР”, индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);

через подписные агентства:
ООО “Интер-Почта 2003”, ООО “ИНТЕР-ПОЧТА-РЕГИОН”,
ООО “Урал-Пресс XXI”, ООО “Информнаука”,
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”



Sfiteх

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition

ufi
Approved
Event

11-14
НОЯБРЯ | 2014

Место проведения:

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ



РЕКЛАМА

23-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА **ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ**

- ⊗ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
- ⊗ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
- ⊗ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ
- ⊗ **NEW!** ГАДЖЕТЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

IS.CS

5-я Специализированная выставка
«Информация: техника и технологии защиты»

Организаторы:



primexpo



ITE GROUP PLC

+7 (812) 380 6009/00, security@primexpo.ru

www.sfiteх.ru