

8-2013

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ЖИЛОГО СЕКТОРА
И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ



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
ППКПУ 4/16
«АИСТ»



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



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



Распределительные устройства
(РУ) для комплектации АУГП
централизованного типа



Насадки для распыления
газовых огнетушащих веществ
(струйные и локальные)



СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

86 лет назад был создан
Государственный пожарный надзор России

5

86 years since the establishment
of the State fire supervision of Russia

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

ГОРДОН Б. Г.
Поиски смысла пожарной безопасности

8

GORDON B. G.
The search of the sense of the fire safety

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

УШКОВ В. А., ЛАЛАЯН В. М.,
ЛОМАКИН С. М., НЕВЗОРОВ Д. И.
Горючесть и дымообразующая способность
полимерных композиционных материалов
с разлагающимися минеральными наполнителями

15

USHKOV V. A., LALAYAN V. M.,
LOMAKIN S. M., NEVZOROV D. I.
Flammability and smoke generation ability
of polymer composite materials with degradable
mineral fillers

СМИРНОВ В. В., АЛЕКСЕЕВ С. Г., БАРБИН Н. М., КАЛАЧ А. В.
Связь показателей пожарной опасности
с химическим строением. XI. Галогеналканы

25

SMIRNOV V. V., ALEXEEV S. G., BARBIN N. M., KALACH A. V.
Correlation of fire hazard characteristics with chemical structure.
XI. Haloalkanes

ОГНЕЗАЩИТА

FIRE RETARDANCE

САРЫМСАКОВ А. А., ЙУЛДОШОВ Ш. А.,
УСМАНОВ М. Х., ДЖУРАЕВ С. М.
Наполненные древесностружечные плиты
с пониженной горючестью

38

SARYMSAKOV A. A., YULDOSHOV Sh. A.,
USMANOV M. Kh., DJURAEV S. M.
Filled-density wood chipboard
with a lower flammability

РУДЗИНСКИЙ В. П., ГАРАЩЕНКО А. Н., ГАРАЩЕНКО Н. А.
Теплотехнические расчеты двухмерных температурных
полей в конструкциях из полимерных композитов
со вспучивающимся огнезащитным покрытием

42

RUDZINSKIY V. P., GARASHCHENKO A. N., GARASHCHENKO N. A.
Thermotechnical calculations of two-dimensional temperature
fields in polymer composite structures with intumescent
fire protection

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

ГОЛИКОВ А. Д., ЧЕРКАСОВ Е. Ю., ГРИГОРЬЕВ Д. М.
Прогнозирование предела огнестойкости стен зданий
с температурными швами, заполненными огнестойкой пеной

48

GOLIKOV A. D., CHERKASOV Ye. Yu., GRIGORIEV D. M.
Forecasting limit of fire resistance of walls of buildings with
expansion joints filled with fire-resistant foam

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

НОВИКОВ В. В., ЦОПОВ С. В.
Проблемы обеспечения пожарной безопасности
жилого сектора и пути их решения

53

NOVIKOV V. V., TSOPOV S. V.
Problems of maintenance of fire safety
of residential sector and ways of their solution

ЗАХМАТОВ В. Д.
Угроза государственной программе
по энергетической независимости Украины —
переводу газовых электростанций на угольную пыль

63

ZAKHMATOV V. D.
Government program threat
on power independence of Ukraine —
transfer of gas power stations into coal

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

FIRE SAFETY OF PEOPLE

ХОЛЩЕВНИКОВ В. В.
Влияние методов натурных наблюдений на определение
числовых характеристик закона распределения
расчетной величины скорости людского потока

71

KNOLSHCHEVNIKOV V. V.
The effect of field observation methods
on determining numeric characteristics of the law
of human flow velocity distribution

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

MEANS AND WAYS OF FIRE EXTINGUISHING

ДУМИЛИН А. И.
Тушение пламени горючих жидкостей охлаждением
их поверхности распыленной водой

81

DUMILIN A. I.
Suppression of the flame of combustible liquids
by water spray cooling of their surface

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.



86 лет Государственному пожарному надзору России

Том 22, № 8, 2013

Председатель Редакционного совета:

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

Зам. председателя Редакционного совета:

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

Корольченко Д. А., к. т. н. (Россия)

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

Меркулов В. А., к. т. н. (Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Шилдс Т. Дж., профессор (Великобритания)

Редакция:

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

Учредитель — ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

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

121352, г. Москва, а/я 43.

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

Подписано в печать 09.08.2013.

Формат 60x84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии "ГранПри", г. Рыбинск.



Пожарная безопасность жилого сектора

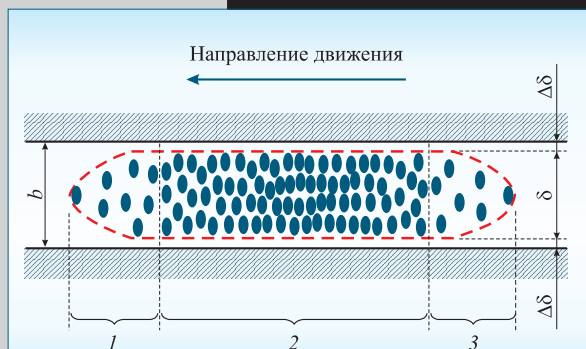
Стр. 5

Стр. 53



Тушение электростанций, использующих уголь

Стр. 63



Стр. 71

Методы натурных наблюдений людских потоков

Стр. 81



Тушение ГЖ охлаждением их поверхности



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 09.08.2013
Format is 60x84 1/8
Printing is 5 000 copies
Chalk-overlay mat paper
Offset printing

Chairman of Editorial Board:

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

Deputy Chairman of Editorial Board:

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

Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Thomas Jim Shields,
Professor (Great Britain)

МЧС РОССИИ

информирует



86 ЛЕТ НАЗАД БЫЛ СОЗДАН ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЖАРНЫЙ НАДЗОР РОССИИ

18 июля исполнилось 86 лет со дня создания Государственного пожарного надзора в нашей стране. Формирование органов Госпожнадзора происходило на протяжении длительного исторического периода.

18 июля 1927 года Советом народных комиссаров был принят документ о создании службы государственного пожарного надзора, на которую были возложены функции разработки мероприятий по предупреждению пожаров. Принятое правительственное решение о создании единой государственной системы пожарного надзора явилось чрезвычайно важным событием. В современной истории России этот день отмечается с 2007 года.

Сфера деятельности Государственного пожарного надзора значительно изменилась, особенно в последние годы. Государственный пожарный надзор МЧС России — это мощная эффективная система предупреждения и профилактики пожаров в нашей стране.

В течение последних лет в рамках ее реформирования был осуществлен ряд последовательных шагов, направленных на упрощение надзорных процедур, снятие излишних административных и технических барьеров, затрагивающих интересы малого и среднего бизнеса.

Большое внимание уделяется объектам с массовым пребыванием людей, прежде всего объектам образования, социальной сферы, здравоохранения, культуры. Сотрудники Госпожнадзора занимаются вопросами профилактики пожаров в жилом секторе. Летом проводится большая профилактическая работа, направленная на предотвращение пожаров и гибели детей: разъяснительные беседы в детских лагерях, на пришкольных площадках и пр.

Только в этом году уже к началу июня совместными комиссиями в целом были проверены свыше 26 тыс. лагерей, в которых выявлено более 8,5 тыс. нарушений, представляющих реальную угрозу для жизни и здоровья. В целях повышения уровня противопожарной защищенности детских лагерей по согласованию с органами прокуратуры в апреле-мае были организованы и проведены соответствующие плановые проверки. Одновременно во исполнение поручений правительства РФ в указанные сроки осуществлены внеплановые выездные проверки вновь орга-

низованных (реорганизованных, переименованных) детских оздоровительных учреждений.

В рамках анализа, проведенного в ходе надзорных мероприятий, также установлено, что около 350 детских лагерей находятся на значительном удалении от мест дислокации пожарных подразделений, а 2 тыс. зданий (корпусов), предназначенных для размещения детей, имеют низкую пожароустойчивость. Обеспечение их безопасности взято на особый контроль.

Структура федерального государственного пожарного надзора включает четыре уровня:

- 1) федеральный уровень — Департамент надзорной деятельности МЧС России;
- 2) региональный уровень — управления надзорной деятельности региональных центров МЧС России;
- 3) уровень субъекта Российской Федерации — управления надзорной деятельности главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации;
- 4) уровень муниципального образования — территориальные подразделения государственного пожарного надзора управлений надзорной деятельности главных управлений МЧС России по субъектам Российской Федерации.

В органах федерального государственного пожарного надзора России проходят службу более 14 тысяч сотрудников, из них около 2,5 тысяч — дознаватели. Ежегодно инспекторским составом проводится более 800 тысяч мероприятий по контролю, предлагается к устранению около 5 миллионов нарушений требований пожарной безопасности.

Благодаря активной работе сотрудников надзорных органов МЧС России по совершенствованию профилактических мероприятий в области пожарной безопасности и участию в них органов исполнительной и законодательной власти Российской Федерации, руководителей предприятий, организаций и граждан на протяжении последних 10 лет значительно снизилось число пожаров и пострадавших при них людей, и эта положительная динамика сохраняется.





ПРАВИТЕЛЬСТВО
УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ



МИНИСТЕРСТВО
ВНУТРЕННИХ ДЕЛ
ПО УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ



ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
МЧС РОССИИ
ПО УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ



АДМИНИСТРАЦИЯ
ГОРОДА ИЖЕВСКА



УДМУРТСКАЯ
ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ
ПАЛАТА



ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
«УДМУРТИЯ»

ВЫСТАВКА ПРОХОДИТ ПОД ПАТРОНАЖЕМ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ПАЛАТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Всероссийская
специализированная
выставка



Комплексная безопасность

18-20 сентября / 2013

ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ!

В ТЕЧЕНИЕ 5 ЛЕТ:

- ВЕДУЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ
- ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ ПРОГРАММА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКЦИИ УЧАСТНИКОВ
- ДЕЛОВЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ
- ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ АУДИТОРИЯ



ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ОБЩЕСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
МЕДИЦИНА И КАТАСТРОФЫ
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧС

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

ОДНОВРЕМЕННО СОСТОИТСЯ
II ВСЕРОССИЙСКАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
«МЕДИЦИНА И ЗДОРОВЬЕ»

Место проведения выставки:
г. Ижевск, ул. Кооперативная, 9

Выставочный центр «УДМУРТИЯ»
тел./факс: (3412) 733-581, 733-585, 733-587, 733-664
safe@vcudm.ru | www.safe.vcudm.ru | vk.com/izh.safe



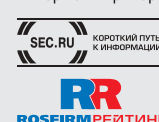
Информационные
партнеры:



СПАСАТЕЛЬ
ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ
СПАСАТЕЛЬНЫЙ



Интернет-партнеры:





Пенообразователи

Шторм

Точный расчет на безопасность!

РЕКЛАМА

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

ГЕФЕСТ

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

Тел.: (495) 925 51 31

www.gefestnpk.ru

www.shtpena.ru

Б. Г. ГОРДОН, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник Научно-технического центра по ядерной и радиационной безопасности Ростехнадзора (Россия, 107140, г. Москва, ул. Малая Красносельская, 2/8, корп. 5; e-mail: Gordon@secnrs.ru)

УДК 621.039:614.842/.847

ПОИСКИ СМЫСЛА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Исходя из опыта работы в области использования атомной энергии рассмотрен ряд проблем обеспечения пожарной безопасности: ее определение, качество законодательства, ответственность и особенности вероятностных методов. Предложены определение пожарной безопасности объекта и критерии качества нормативных актов.

Ключевые слова: пожарная безопасность; законодательство; критерий; определение; проблема; ответственность; вероятность; метод.

Введение

Поводом для написания данной работы явилась статья В. В. Жукова [1], в которой четко поставлен ряд вопросов: определение термина “пожарная безопасность”, роль вероятностных методов, критерии качества нормативных правовых актов, периодичность их пересмотра и т. д. Подобные вопросы возникают и обсуждаются и в других сферах, например в области использования атомной энергии, в которой автор работает почти 45 лет, из них последние 25 — в Научно-техническом центре по ядерной и радиационной безопасности Ростехнадзора (НТЦ ЯРБ). Именно с целью прояснения подобных вопросов в 2006 г. была опубликована монография [2]. Результаты приложения развитых в ней идей к практике научного обеспечения регулирования ядерной и радиационной безопасности содержатся в работе [3].

Представляется полезным использовать подходы, описанные в [2, 3], для обсуждения перечисленных выше вопросов. Пожарная безопасность имеет большое значение в области использования атомной энергии. В частности, уже в ст. 4 федерального закона № 170 [4] одним из установленных видов деятельности объявлен “контроль за обеспечением ядерной, радиационной, технической и пожарной безопасности”, и дальнейшее применение термина “безопасность” в тексте закона подразумевает перечисление всех четырех ее видов. Поэтому существуют достаточно тесные рабочие контакты между специалистами НТЦ ЯРБ и ВНИИПО, ВНИИ ГОЧС и иными научными структурами МЧС.

Сотрудники НТЦ ЯРБ регулярно привлекались к участию в федеральных программах МЧС, конференциях и других мероприятиях ведомства, благодаря чему можно надеяться, что участие в дискуссии не будет расценено как вторжение “в чужой монастырь”. Так как автор отнюдь не считает себя специалистом в области пожарной безопасности, из-

лагаемые ниже соображения следует рассматривать как дополнительный, эмпирический, отсылочный материал, основанный на определенном сходстве проблем ядерной и пожарной безопасности.

О пожарной безопасности человека и объекта

Основной идейной установкой обеих книг [2, 3] является ориентация на терминологию, зафиксированную в нормативных правовых и технических актах. Значения терминов, характеризующих различные виды безопасности (пожарной, промышленной, радиационной, экологической), основаны на определении безопасности в одном из старейших российских законов [5] как состояния защищенности субъектов этих законов (личности, общества, окружающей среды и т. п.). В настоящее время взамен этого закона принят новый закон № 390-ФЗ [6], который “определяет основные принципы и содержание деятельности по обеспечению безопасности государства, общественной безопасности, экологической безопасности, безопасности личности, иных видов безопасности, предусмотренных законодательством Российской Федерации”, но уже не содержит определения безопасности.

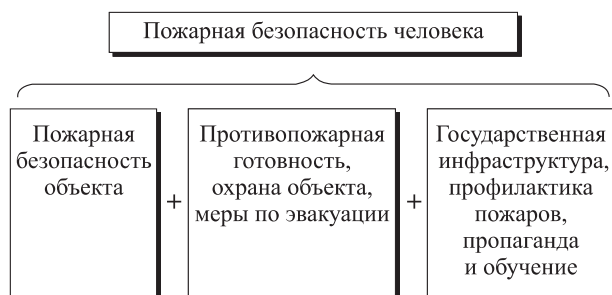
Нельзя исключить, что такое положение дел, кажущееся странным техническим специалистам, является некой юридической тенденцией, в русле которой последует пересмотр соответствующих законов о видах безопасности. Но пока законы действуют, их надо исполнять.

Термин “пожарная безопасность” был введен в 1994 г. федеральным законом № 69 [7] и определялся как “состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров”. Такое определение вполне коррелирует с обиходным словоупотреблением. Толковый словарь [8] дает два значения понятия “безопасный”: 1) “не угрожающий

каким-нибудь вредом, опасностью”; 2) “надежно защищенный, защищающий от опасностей”. В качестве примера для первого значения приводится безопасная бритва, для второго — безопасное место. Очевидно, что второе значение вполне соответствует определению, данному в [7].

Существует мнение, что два смысла понятия “безопасность” — это две стороны одной медали. Соглашаясь с ним в принципе, следует отметить, что второе значение шире, ибо включает в себя первое, а также меры защиты за пределами объекта. Для лучшего понимания к понятию “пожарная безопасность” следовало бы добавить дополнение в родительном падеже: “безопасность человека (имущества, общества, государства)” или “безопасность объекта (завода, здания, атомной станции)”. В тех случаях, когда для краткости дополнение отсутствует, можно понимать ее как безопасность человека в соответствии с [7]. Тогда по аналогии с подходами в области использования атомной энергии, в которой термин “ядерная безопасность объектов” вводится федеральными нормами и правилами, можно было бы определить понятие “пожарная безопасность объекта” в нормативных документах МЧС как *свойство объекта с определенной вероятностью предотвращать возникновение пожара*. Связь между обоими терминами может быть проиллюстрирована следующей схемой (см. рисунок).

На рисунке первый прямоугольник во втором ряду относится к свойству объекта, второй — к обязанностям эксплуатирующих организаций, третий — к функциям государства. Отсюда следует, что пожарная безопасность человека (имущества, общества, государства) определяется не только техническими свойствами объекта предотвращать пожар, которые закладываются в его проекте, обеспечиваются при эксплуатации и зависят от противопожарных свойств оборудования, материалов, средств диагностики, оповещения и т. п. В значительной мере она формируется комплексом противопожарных мер, принимаемых как эксплуатирующими организациями, так и государственными органами регулирования пожарной безопасности и другими уполномоченными государственными субъектами власти.



Связь понятий пожарной безопасности

Очевидно, что свойство объекта и состояние человека — представления связанные, но различные по своей феноменологической природе. Если объект с некоторой вероятностью теряет свойство пожарной безопасности, то пожарная безопасность человека еще может быть обеспечена, состояние защищенности еще может сохраняться за счет различных организационно-технических мер. При ухудшении противопожарной обстановки эксплуатирующая организация или орган управления может остановить объект, орган регулирования безопасности — приостановить действие лицензии. Собственно, практически все регулирование пожарной безопасности направлено на предотвращение, предупреждение пожаров. Но если авария произошла (т. е. пожарная безопасность объекта нарушена), то для снижения последствий пожара предусматриваются меры аварийного реагирования. Пожарная безопасность человека еще может быть сохранена с помощью индивидуальных мер защиты, эвакуации и т. п. Если объект с некоторой вероятностью может потерять свойство быть безопасным, то для сохранения состояния защищенности людей создаются государственные органы регулирования и системы административного управления, разрабатываются меры по противопожарной готовности и реагированию, методы оценки и расчета этой вероятности.

Если безопасность технологии, объекта обеспечена свойствами самого объекта, то существует угроза проникновения на объект, поджога, диверсии и т. п. вне зависимости от свойства объекта, безопасности технологии. Защита от этих действий осуществляется иными средствами, нежели защита от пожаров, и другими специалистами, нежели оперативный персонал. А неуспех этой защиты представляет угрозу для безопасности человека, даже если технологические процессы были безупречны.

С учетом сказанного легко объяснить, как можно понимать высказывания о повышении безопасности или об уровне безопасности, которые столь часто звучат из самых разных уст. Если подходить к рисунку, как к уравнению, то формально можно сделать, например, такие заключения: ужесточена борьба с курением, усилена охрана периметра, успешно проведены противопожарные учения, к имеющемуся десятку автобусов для возможной эвакуации людей прикуплено еще пять. Все это, бесспорно, повышает безопасность человека, но не имеет отношения к пожарной безопасности объекта. А так как финансовые средства на повышение безопасности всегда ограничены, то при реализации всех этих мер меньше средств остается для повышения пожарной безопасности самого объекта.

Так что же повышает пожарную безопасность уже действующего объекта? Развитие свойств внут-

ренней самозащищенности от пожаров, систем контроля и диагностики противопожарного состояния технологических систем и оборудования, повышение культуры безопасности персонала, обеспечение качества систем, элементов и выполняемых работ, уточнение эксплуатационных документов и т. п. — все то, что снижает вероятность и интенсивность пожара.

Однако это не означает, что не надо улучшать системы противопожарного реагирования, пропаганды и обучения населения и т. п. Нужно делать и первое, и второе, и третье, но при этом следует отдавать отчет, на что все эти мероприятия влияют. Обеспечение пожарной безопасности человека и окружающей среды — комплексная, сложная, многопараметрическая задача. Решая ее, следует ясно понимать, что является главным, какие установлены приоритеты, “что надо делать сначала, а что потом” (так определял Л. Н. Толстой человеческую мудрость).

Ясность понятий обеспечивает осознание своих действий, точность постановки задач, направление путей их решения, однозначность критериев оценки полученных результатов. Все это, в конечном счете, способствует повышению культуры безопасности персонала и эффективному регулированию пожарной безопасности человека.

Роль вероятностных подходов

Предложенное выше по аналогии с ядерной безопасностью определение пожарной безопасности объекта основано на том, что пожар — это случайное событие. Постоянное горение, происходящее на некоторых объектах, является элементом технологий и предметом управления. При этом существует принципиальное отличие области использования атомной энергии от сферы общей промышленности. Производственные объекты опасны прежде всего для самих себя и их персонала, а ядерные аварии могут иметь глобальные последствия и являются аномально редкими событиями.

В атомной отрасли анализ опыта эксплуатации позволяет фиксировать и изучать различные отклонения от нормальных условий эксплуатации, отказы оборудования и его элементов. Возможные аварии математически моделируются детерминистскими методами, а вероятности аварий рассчитываются специальными методами вероятностного анализа безопасности (ВАБ), адаптированными для редких событий. Так как ядерная безопасность определена через вероятность аварии, то необходимость проведения ВАБ установлена нормативными документами наряду с анализом опыта эксплуатации и детерминистским анализом безопасности.

Принципиальным здесь является установление в [9] следующих целевых показателей ядерной без-

опасности: следует стремиться к тому, чтобы оцененные значения вероятностей не превышали для тяжелых запроектных аварий 10^{-5} , а для предельного аварийного выброса радиоактивных веществ — 10^{-7} на реактор в год. Эти показатели не стоит рассматривать как предельно допустимые, которые нельзя превышать. Они именно целевые, к которым следует стремиться, т. е. если при получении предыдущей лицензии ВАБ дал значение 10^{-4} , а нынешней — $4 \cdot 10^{-5}$, то требование [9] может считаться выполненным.

По мнению автора, такой подход целесообразен, так как учитывает особенности выполнения, неопределенности и погрешности вероятностных расчетов, особенно применительно к действующим атомным станциям. Теория вероятностей накладывает целый ряд условий на случайные величины, с которыми она оперирует, и методы ВАБ содержат ряд гипотез, связанных с редкостью ядерных аварий и невозможностью предусмотреть все возможные исходные события. Кроме того, в процессе проведения ВАБ используются экспертные оценки, что обуславливает определенный субъективизм получаемых результатов.

Считается общепринятым, что допущения и возможности ВАБ не позволяют доверять значениям вероятностей сверхнормативного повреждения топлива менее 10^{-5} на реактор в год. Это связано прежде всего с невозможностью экспериментального подтверждения расчетных величин, а также с трудностью количественной оценки вклада человеческого фактора, который составляет порядка 20–60 %. Здесь нет противоречия. ВАБ — единственный имеющийся инструмент для оценки ядерной безопасности, но инструмент ограниченный, со своей “ценой деления”. (Так, нельзя измерять линейкой отрезки размером менее 1 мм.)

В связи с этим в [2] предложено учитывать четыре условия, выполнение которых обеспечивает адекватную оценку ядерной безопасности. Это — общая база данных по отказам, единая модель объекта, одна методика расчетов и одна команда расчетчиков. Из этого следует, что ВАБ целесообразно применять при анализе проектируемых объектов, различных состояний эксплуатации одного объекта, разных вариантов его модернизации, но не следует использовать эти результаты для сопоставления между собой различных действующих объектов или для установления каких-либо граничных допустимых значений.

Пожары же, к сожалению, имеют богатую статистику. По содержащимся в интернете данным Центра пожарной статистики в России количество пожаров в год на 1 млн. чел. составляет около 2000; при этом погибают более 100 чел. и примерно столько же по-

лучают травмы; 80 % пожаров приходится на жилой сектор. Иными словами, общее количество пожаров оценивается несколькими сотнями тысяч, а число пострадавших — несколькими десятками тысяч человек. Таким образом, ежегодно сама жизнь предоставляет обильный материал для научного анализа, статистики и классификации пожаров, изучения их причин, разработки детерминистских моделей, формирования противопожарных мер — всего того, что составляет содержание научного обеспечения пожарной безопасности.

Именно из-за такого количества происходящих пожаров возникает необходимость в экспериментальном изучении защитных, воспламеняющихся, горючих и других материалов, свойства которых определяют условия возникновения и распространения пожаров. От того, насколько глубоко анализируются практика и эксперименты, зависит качество противопожарных мероприятий и документов.

Тем не менее в федеральном законе № 123 [10] установлено значение индивидуального пожарного риска 10^{-6} в год, а также содержатся иные вероятностные показатели допустимого пожарного риска. Важно подчеркнуть, что эти величины совершенно правильно помещены в разделе, посвященном проектированию зданий и сооружений, в том числе на территориях производственных объектов, а не в разделе по их эксплуатации. При этом допускается увеличение индивидуального пожарного риска на производственных объектах до 10^{-4} в год.

В принципе, если эти значения трактовать как целевые показатели, то получается следующая цепочка рассуждений. Величина риска 10^{-6} в год для населения России 140 млн. чел. соответствует гибели 140 чел. в год. Это вполне достойная цель всей противопожарной деятельности. Пока же реальное количество погибших соответствует индивидуальному пожарному риску, допустимому для производств, хотя, как отмечено выше, подавляющее количество смертей от пожаров происходит в быту.

Если каждый пожар — событие случайное, то совокупность случайных событий, повторяющихся из года в год, — явление закономерное, детерминированное всем комплексом технических, социальных и культурных условий. И тут нельзя не согласиться с рекламой магазина “01”: “Пожар не бывает случайным”. Изучение этого комплекса условий для их изменения является важной задачей научных исследований, в которых нельзя обойтись без вероятностных подходов.

Критерии качества нормативных актов

Наверное, нет такого закона или нормативного технического документа, который бы не подвергал-

ся самой уничижительной критике. Если закон давний, его объявляют устаревшим, если — свежий, то говорят, что он еще сырой. Иногда кажется, что существует прямая связь между рьяностью критики и узостью точек зрения критикующих. Нормативные документы разрабатываются сообществом специалистов, в число которых входят проектанты, строители, ученые, чиновники, представители эксплуатирующих организаций, заводов-изготовителей и т. д. Каждый из них обладает собственными знаниями, опытом, способностями, у каждого — свои требования, интересы, задачи. Текст любого закона — результат компромисса различных, иногда противоположных точек зрения. И как всякое дело рук человеческих, он не лишен недостатков, которые являются следствием этого компромисса и ограниченности наших знаний.

Процедуры разработки нормативных актов, как правило, предусматривают предварительную публикацию и обсуждение их проектов, в процессе которых круг разработчиков расширяется. Определяющую роль в этих процедурах играют утверждающие органы, которые и несут ответственность за качество документов.

С момента образования НТЦ ЯРБ ему было поручено организовывать разработку нормативных документов в сфере ответственности государственного органа по регулированию ядерной и радиационной безопасности: нормативных правовых актов, в том числе федеральных норм и правил, руководств по безопасности, руководящих документов и т. п. За 25 лет была создана стройная система нормативных технических документов по ядерной и радиационной безопасности, разработаны тексты нескольких сотен документов, часть из которых уже неоднократно пересматривалась.

Разумеется, проблема определения качества этих документов всегда стояла во главе угла, в связи с чем были сформулированы следующие критерии: максимальный учет отечественного и зарубежного опыта проектирования и эксплуатации, науки и техники, экспертизы и надзора за безопасностью. К сожалению, эти критерии качественные, но других нет даже за рубежом. Поэтому каждый утвержденный документ обладает тем очевидным преимуществом перед любыми, самыми яркими и, казалось бы, бесспорными новациями, что он согласован всем сообществом специалистов на уровне понимания и ответственности, что предшествует его утверждению.

Эти соображения полезно помнить, приступая к критике любого документа. Например, в законе [7], действительно, нет понятия “эксплуатирующая организация”. Представляется, что гл. 4 этого документа, посвященная обеспечению пожарной безопасности, переводит вопрос об ответственности

за ее обеспечение в сферу действия других нормативных правовых актов. По-видимому, это связано с тем, что подавляющее число пожаров происходит в быту в результате стихийных бедствий, а это значительно труднее регламентировать. Зачастую ответственные за обеспечение пожарной безопасности сами оказываются среди пострадавших. В конце концов, качество любых человеческих действий определяется их результатом. Статистика показывает, что у нас при пожарах гибнет в 6 раз больше людей, чем в США, и это обуславливается не только организацией противопожарных мероприятий, но и культурой безопасности всего населения.

Органы же пожарной охраны несут ответственность за регулирование пожарной безопасности, в состав которого входит разработка нормативных документов, лицензирование и надзор за соблюдением норм, правил, условий действия лицензий и самой пожарной безопасности.

Примерно так же формируется ответственность за регулирование безопасности при использовании атомной энергии, хотя здесь вся полнота ответственности за обеспечение безопасности человека и окружающей среды возложена на эксплуатирующую организацию [4]. Проектанты, строители, заводы-изготовители и другие сервисные организации несут ответственность за качество выполненных работ и предоставленных услуг в течение всего проектного срока службы объекта.

Вместе с тем можно только позавидовать тому, как тщательно и подробно в [7] прописаны права и обязанности сотрудников государственной противопожарной службы, их финансовое, материально-техническое, страховое и другое обеспечение. Ведь в атомной области сложилась парадоксальная ситуация. Из четырех перечисленных ранее видов безопасности при использовании атомной энергии три регулируются специальными законами: “О радиационной безопасности населения”, “О промышлен-

ной безопасности опасных производственных объектов” и “О пожарной безопасности”. И только ядерная безопасность, имеющая глобальное значение, самая молодая, наименее изученная и наиболее опасная, не регламентируется собственным законом. Конечно, тому есть свои причины, ведь качество законодательства, с одной стороны, отражает уровень развития общества, а с другой — воздействует на него самым непредсказуемым образом.

Заключение

Сопоставление подходов в сферах ядерной и пожарной безопасности свидетельствует об определенном сходстве проблем, стоящих перед учеными, осуществляющими научное обеспечение разных ведомств. Действительно, наука едина, но специфика разных областей накладывает свой отпечаток на решение этих проблем. Во всяком случае, такое сопоставление расширяет кругозор и направлено на объединение совместных усилий.

Автор с большими опасениями относится к революционным стремлениям сформировать любое новое законодательство, в том числе в сфере пожарной безопасности. Только Господь способен создавать законы с чистого листа, да и то в последний раз Он сотворил подобное несколько тысячелетий назад, использовав для прочности каменные скрижали.

Человеку же дан путь проб и ошибок, постепенного совершенствования, накопления опыта. В сфере пожарной безопасности вполне уместна известная формула, рожденная в Госгортехнадзоре: “Нормы пишутся кровью”. Правда, один умник пошутил, что, мол, надо бы писать мозгами, но эта остроумная, на первый взгляд, шутка представляется ошибочной. “Мозгами” означает умозрительно, из головы, а нормы все-таки должны основываться на имеющемся опыте. Не стоит противопоставлять различные подходы, целесообразнее объединять их и совершенствовать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков В. В. Новый смысл пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 12. — С. 4–10.
2. Гордон Б. Г. Идеология безопасности // Труды Научно-технического центра по ядерной и радиационной безопасности. — М. : НТЦ ЯРБ, 2006.
3. Гордон Б. Г. Бисер у пропасти (Практика применения идеологии безопасности) // Труды Научно-технического центра по ядерной и радиационной безопасности. — М. : НТЦ ЯРБ, 2009.
4. Об использовании атомной энергии : Федер. закон РФ от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ; принят Гос. Думой 20.10.95 г.; введ. 21.11.95 г. // Собр. законодательства РФ. — 1995. — № 48, ст. 4552.
5. О безопасности : Закон РФ от 05.03.92 г. № 2446-1 (в ред. Закона от 25.12.92 г. № 4235-1, Указа Президента РФ от 24.12.93 г. № 2288). URL : <http://www.zakonprost.ru/zakony/2446-1-ot-1992-12-25-o-bezopasnosti> (дата обращения: 10.05.2013 г.).
6. О безопасности : Федер. закон РФ от 28.12.2010 г. № 390-ФЗ; принят Гос. Думой 07.12.2010 г.; одобрен Сов. Федерации 15.12.2010 г.; введ. 29.12.2010 г. // Российская газета. — 29.12.2010 г. — № 295.

7. О пожарной безопасности (с изм. и доп.) : Федер. закон от 21.12.94 г. № 69-ФЗ; принят Гос. Думой 18.11.94 г.; введ. 26.12.94 г. // Собр. законодательства РФ. — 1994. — № 35, ст. 3649.
8. Толковый словарь русского языка. В 4 т. / Под ред. Д. Н. Ушакова. — М. : ОГИЗ, 1935.
9. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97. НП-001–97 (ПНАЭ Г-01–011–97) : постановление Госатомнадзора России от 14.11.97 г. № 9; введ. 01.07.98 г. URL : <http://ohranatruda.ru/otbiblio/normativ/data/normativ/8/8253/index.php> (дата обращения: 10.05.2013 г.).
10. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобрен Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.

Материал поступил в редакцию 14 мая 2013 г.

English

THE SEARCH OF THE SENSE OF THE FIRE SAFETY

GORDON B. G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Science Worker of Russian Federation, Chief Researcher of Scientific and Engineering Centre of Nuclear and Radiation Safety of Rostekhnadzor (Malaya Krasnoselskaya St., 2/8, b. 5, Moscow, 107140, Russia Federation; e-mail address: Gordon@secnrs.ru)

ABSTRACT

Based on the resemblance of the problems of the nuclear and fire safety we have examined the actual issues of the normative regulation of the fire safety: terminology, role of the probabilistic methods, criteria of the quality of the normative legal documents, periodicity of their revision.

We have carried out the analysis of the legislation acting in the field of the fire safety. We have compared the definitions of the main terms. We have proposed to introduce into the norms and rules of the fire safety the following definition of the conception “*fire safety of the object*” as “*the ability of the object to prevent fire with certain probability*”. We have presented the schematic connection of this conception with the normative definition of the fire safety of human being. The accomplished analysis allowed to specify the sense of the idea of the fire safety enhancement.

We have analyzed the normative target indices, established in the federal norms and rules for the evaluation of the nuclear safety. These indices have been compared with the criteria of the individual fire risk. We have proposed a pithy interpretation of these criteria.

We have compared the situation with the legislation in the field of fire safety and in the field of nuclear safety. We have reviewed the procedure of the elaboration of normative legal documents and analysed the roles of different parties taking part in this procedure. We have presented criteria of the quality of these documents, taken into account the domestic and foreign experience of design and operation, scientific and technical experience, experience in the field of the expert examination and safety supervision. The main criterion of the acting normative document is coordination of all the Parties participating in its elaboration.

The main direction of the improvement of the normative base for the fire safety is a coherent, systematical development of the acting documents based on the accumulated experience of all the Parties participating in its elaboration, taking into account the results in the contiguous areas.

Keywords: fire safety; legislation; criterion; definition; problem; responsibility; probability; method.

REFERENCES

1. Zhukov V. V. Novyy smysl pozharnoy bezopasnosti [New sense of the fire safety]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 12, pp. 4–10.
2. Gordon B. G. Ideologiya bezopasnosti [Ideology of safety]. *Trudy Nauchno-tehnicheskogo tsentra po yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti* [Proc. Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety]. Moscow, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety Publ., 2006.

3. Gordon B. G. Biser u propasti (Praktika primeneniya ideologii bezopasnosti) [Beads on the edge of abyss (Practice of application of ideology of safety)]. *Trudy Nauchno-tekhnicheskogo tsentra po yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti* [Proc. Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety]. Moscow, Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety Publ., 2009.
4. On use of atomic energy. Federal law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 170. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 1995, no. 48, art. 4552 (in Russian).
5. On safety. Law of Russian Federation on 05.03.92 No. 2446–I. Available at: <http://www.zakonprost.ru/zakony/2446-1-ot-1992-12-25-o-bezopasnosti> (Accessed 10 May 2013) (in Russian).
6. On safety. Federal law of Russian Federation on 28.12.2010 No. 390. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 29.12.2010, no. 295 (in Russian).
7. On fire safety. Federal law of Russian Federation on 21.12.94 No. 69. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 1994, no. 35, art. 3649 (in Russian).
8. Ushakov D. N. (ed.) *Tolkovyy slovar russkogo yazyka* [Wordbook of Russian language]. Moscow, OGIZ Publ., 1935.
9. General regulations to provide safety of nuclear power plants. OPB-88/97. Available at: <http://ohrana-truda.ru/otbiblio/normativ/data/normativ/8/8253/index.php> (Accessed 10 May 2013) (in Russian).
10. Technical Regulations on Fire Safety. Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).



Издательство «ПОЖНАУКА»

ВНИМАНИЕ! Распространяется БЕСПЛАТНО!

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



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

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

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

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

В. А. УШКОВ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией “Современные композиционные строительные материалы”, Институт строительства и архитектуры Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; e-mail: kurs-isa@mail.ru)

В. М. ЛАЛАЯН, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН (Россия, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, 4)

С. М. ЛОМАКИН, канд. хим. наук, заведующий лабораторией химической стойкости полимеров, Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН (Россия, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, 4)

Д. И. НЕВЗОРОВ, аспирант кафедры полимерных строительных материалов и прикладной химии, Институт строительства и архитектуры Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; e-mail: nevzorovdi@yandex.ru)

УДК 678.06

ГОРЮЧЕСТЬ И ДЫМООБРАЗУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С РАЗЛАГАЮЩИМИСЯ МИНЕРАЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Рассмотрено влияние содержания и химической природы разлагающихся минеральных наполнителей на воспламеняемость и дымообразующую способность полимерных композиционных материалов (ПКМ). Выявлено, что основным параметром, определяющим влияние разлагающихся минеральных наполнителей на воспламеняемость ПКМ, является удельное количество тепла, поглощаемое наполнителем. Показано, что для всех исследованных ПКМ с удовлетворительной степенью точности выполняется линейная зависимость $100/KI$ от относительного содержания разлагающихся наполнителей. Приведены термохимические характеристики на пределе свечного горения термопластичных полимеров, наполненных фтористым литием и $Al(OH)_3$, а также расчетные и экспериментальные значения KI таких полимеров. Получено расчетное соотношение, достоверно описывающее результаты экспериментальных исследований. Показано, что разлагающиеся наполнители существенно снижают дымообразующую способность полимерных композитов.

Ключевые слова: горючесть; разлагающийся минеральный наполнитель; полимерный композиционный материал; кислородный индекс; удельная теплоемкость; пожарная опасность; коэффициент дымообразования.

Для производства полимерных композиционных материалов (ПКМ) широко применяются гидроксиды магния и алюминия, а также минеральные наполнители, содержащие химически связанную воду. В научно-технической литературе, как правило, приводятся данные о влиянии таких наполнителей на горючесть и физико-механические свойства ПКМ [1–10]. Так, например, в работе [6] описано влияние природных минералов месторождений Восточной Сибири (диопсид, палыгорскитовая глина и различные слюды — флоголит, мусковит, вспученный вермикулит) на горючесть и эксплуатационные свойства огнезащитных покрытий на основе карбамидоформальдегидной смолы КФ-Ж и пластизолов на основе эмульсионного ПВХ. В работе [7] показано, что активность $Al(OH)_3$ зависит не только от степени измельчения наполнителя, но прежде всего от

методов его получения и обработки. Для получения требуемых деформационно-прочностных показателей искусственной кожи предлагается использовать комбинацию наногидроксида алюминия и гидроксида алюминия, полученного методом механодиспергирования [8]. В работе [9] исследовано влияние содержания и степени измельчения антипирена-наполнителя на физические свойства ПВХ-композиций. Данные по термическим превращениям алюминий-содержащих антипиренов приведены в работе [10]. Вместе с тем лишь небольшое число работ посвящено установлению закономерностей диффузионного горения таких ПКМ [2, 3, 11, 12]. В связи с этим представлялось целесообразным исследовать влияние содержания и химической природы разлагающихся минеральных наполнителей на диффузион-

ное горение, термостойкость, воспламеняемость и дымообразующую способность ПКМ.

В качестве объектов исследования были использованы полиэтилен высокого давления (ПЭВД) марки 10204-003 (ГОСТ 16337-77) и низкого давления (ПЭНД) марки 20208-002 (ГОСТ 16338-85), пластифицированный диоктилфталатом эпоксидный полимер ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), резины на основе синтетического каучука СКС-30АРКМ-15 (ГОСТ 11138-78) и шинного регенерата РШ (ТУ 38.404.203-90), первичный и вторичный ПВХ, полиоксиметилен, полистирол (ГОСТ 20282-86), АБС-пластик, термоустойчивый полиуретан. ПКМ получали по общепринятым методикам. В качестве неорганических наполнителей применяли порошкообразные вещества со средним эквивалентным диаметром частиц 10–25 мкм: $\text{Al}(\text{OH})_3$ (ГОСТ 11841-76), $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (ТУ 6-09-3759-86), $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (ГОСТ 9262-77), $\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, MgCO_3 (ГОСТ 6419-78), NaHCO_3 (ГОСТ 2156-76), каолин $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ГОСТ 21286-82), гетит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, серпентин $X_{2-3}\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (где $X = \text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ni}, \text{Al}, \text{Zn}, \text{Mn}$), талькомагнезит — смесь $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ и MgCO_3 (ГОСТ 21235-75) и другие вещества, содержащие химически связанную воду. Для сравнительного анализа использовали ПКМ, наполненные LiF (ТУ 6-09-3529-84), не разлагающимся в условиях горения ПКМ.

Термические свойства разлагающихся наполнителей и термостойкость ПКМ определяли термогравиметрическим методом в динамическом режиме нагрева на воздухе (50 мл/мин), используя для этих целей термоаналитический автоматизированный комплекс DuPont-9900. Термогравиметрический анализ ПКМ проводили при нагреве со скоростью 10 и 20 °С/мин с учетом требований ГОСТ Р 53293-2009. В качестве критерия термостойкости ПКМ использовали температуры начала интенсивного разложения $T_{\text{н.р}}$ и максимальной скорости разложения $T_{\text{макс}}$. Кислородный индекс (КИ), температуры воспламенения $T_{\text{в}}$ и самовоспламенения $T_{\text{св}}$, коэффициент дымообразования D_m в режиме пиролиза и горения, критическую плотность теплового потока воспламенения $q_{\text{кр}}$ ПКМ определяли по ГОСТ 12.1.044-89*. Предельную концентрацию кислорода $C_{\text{пр}}$ и скорость распространения пламени по горизонтальной поверхности $V_{\text{р.л}}$ ПКМ при различной концентрации кислорода в потоке окислителя ($\text{O}_2 + \text{N}_2$) изучали по методике [4].

Из исследованных разлагающихся наполнителей наиболее высокой теплоемкостью при повышенных температурах и максимальным эндотермическим эффектом при разложении обладает $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Следует отметить, что $T_{\text{н.р}}$ и $T_{\text{макс}}$ разлагающихся наполнителей, полученные различными методами, отли-

чаются друг от друга. Так, например, значения $T_{\text{н.р}}$ для $\text{Mg}(\text{OH})_2$, полученные методами ТГА, ДТГ и ДСК, равны соответственно 349, 332 и 344 °С. Это обусловлено, по-видимому, не только различной массой исследованных образцов наполнителей (для ТГ-анализа — 11,3 мг, а для ДСК — 5,1 мг), но и чувствительностью приборов. Изменяя соотношение разлагающихся в условиях горения наполнителей, можно регулировать скорость и эндотермический эффект разложения ПКМ и, следовательно, горючесть полимерных композитов [5].

Условия теплового баланса при диффузионном горении ПКМ можно представить в виде уравнения [11]:

$$\frac{100}{\text{КИ}} = \frac{H - L - c_{\text{т}}(T_{\text{f}} - T_{\text{s}}) - Q_{\text{пот}} - kq_{\text{н}}}{\gamma c_{\text{o}}(T_{\text{f}} - T_0)}, \quad (1)$$

где H, L — удельные значения теплоты соответственно сгорания и газификации полимерного материала;

$c_{\text{o}}, c_{\text{т}}$ — удельная теплоемкость соответственно окислителя и газообразных продуктов разложения ПКМ;

$T_0, T_{\text{s}}, T_{\text{f}}$ — температуры соответственно окружающей среды, горячей поверхности ПКМ и пламени;

$Q_{\text{пот}}$ — тепловые потери от пламени;

k — относительная степень наполнения;

$q_{\text{н}}$ — удельное количество тепла, поглощаемое наполнителем в процессе горения;

γ — массовый стехиометрический коэффициент сгорания топлива; $\gamma = \dot{m}_{\text{o}}/\dot{m}_{\text{т}}$;

$\dot{m}_{\text{o}}, \dot{m}_{\text{т}}$ — массовые потоки соответственно кислорода и топлива.

Для полимеров, не образующих при пиролизе карбонизованного остатка, $k = m_{\text{н}}/m_{\text{т}}$, для ПКМ на основе карбонизирующихся полимеров — $k = m_{\text{н}}/[m_{\text{т}} \times (1 - \delta)]$ (где $m_{\text{н}}, m_{\text{т}}$ — масса соответственно наполнителя и полимера; δ — степень карбонизации полимерного связующего).

Тепло, поглощаемое неорганическим наполнителем, разлагающимся в условиях горения ПКМ, включает несколько составляющих: нагрев наполнителя до температуры разложения и остатка до температуры горячей поверхности, теплоту разложения, нагрев летучих продуктов пиролиза до температуры пламени.

Расчет теплопоглощения $q_{\text{н}}$ разлагающихся наполнителей проводили с учетом всех отмеченных выше факторов. Для многих наполнителей основной вклад вносит теплота разложения. Так, например, расчет показывал, что для $\text{Al}(\text{OH})_3$ теплота разложения составляет более 70 % от суммарного теплопоглощения наполнителем. В качестве примера в табл. 1 приведены значения КИ полиэтилена, на-

Таблица 1. Горючесть полиэтилена с разными наполнителями [2]

Показатель	Al(OH) ₃	Mg(OH) ₂	NaHCO ₃	MgCO ₃	NiCO ₃
Температура начала разложения, °C	233	332	131	171	–
Максимальная скорость разложения, %/мин	5,27	6,8	5,97	8,6	–
Теплота разложения, кДж/кг	963,2	1093	721,2	300,9	–
Удельное количество тепла, поглощаемое наполнителем, кДж/кг	2720	2300	2300	2100	1170
Кислородный индекс, %	29,0	29,5	29,5	30,0	30,0

Таблица 2. Термостойкость эпоксидных композиций

Показатель	Вид наполнителя (его содержание, % масс.)			
	–	Гетит (50,9)	Al(OH) ₃ (43,5)	Лимонит (51,8)
Температура, °C:				
начала интенсивного разложения	262	250	266	240
потери 10 % массы	268	277	278	268
максимальной скорости разложения на стадии:				
первой	289	265	299	263
второй	525	553	480	476
Максимальная скорость разложения, %/мин, на стадии:				
первой	14,70	5,44	8,80	6,86
второй	2,92	2,08	1,98	4,50
Потеря массы при 700 °C, %	97,35	42,4	64,7	52,05

полненного из условия $kq_n = 6500$ кДж/(кг·К). Для расчета q_n использованы табличные значения теплот разложения наполнителей. Несмотря на значительное различие удельного теплотворения и вида негорючего газа, выделяющегося при разложении минеральных наполнителей, значения КИ ПЭВД близки (см. табл. 1). Следовательно, основным параметром, определяющим влияние разлагающегося неорганического наполнителя на воспламеняемость ПКМ, является теплотворение kq_n .

Влияние разлагающихся наполнителей на термостойкость ПКМ неоднозначно. Так, например, Al(OH)₃ незначительно повышает термостойкость наполненных эпоксидных композиций, а гетит и лимонит — напротив, снижают ее (табл. 2). Это обусловлено, по-видимому, как различной устойчивостью исследованных наполнителей к действию повышенных температур, так и наличием активных групп на поверхности наполнителя [13].

Влияние химической природы разлагающихся наполнителей на воспламеняемость и дымообразую-

Таблица 3. Горючесть и дымообразующая способность пластифицированного эпоксидного полимера ЭД-20 с минеральными наполнителями

Показатель	Без наполнителя	Гетит	Ca(OH) ₂	Mg(OH) ₂	Al(OH) ₃	Ni(OH) ₂ ·0,5H ₂ O
Температура, °C:						
T_v	270	290	290	300	310	290
$T_{св}$	470	500	480	500	515	490
КИ, %	19,3	21,5	21,1	22,1	22,3	21,2
$C_{пр}$, %	20,1	25,3	23,8	31,1	34,3	24,1
$q_{кр}$, кВт/м ²	10,9	11,4	11,2	14,8	16,2	12,3
$V_{р.л}$, мм/с, при [O ₂] в окислителе 35 %	0,41	0,28	0,3	0,17	–	0,34
D_m , м ² /кг, в режиме:						
пиролиза	1350	760	410	680	780	830
горения	890	500	290	330	360	340

Примечание. Содержание разлагающихся наполнителей — 43,5 % масс.

щую способность пластифицированного полимера ЭД-20, вторичного ПВХ и резин на основе СКС-30АРКМ-15 приведены соответственно в табл. 3, 4 и 5. Из табл. 3–5 следует, что минимальной горючестью обладают полимерные материалы, наполненные Al(OH)₃. По эффективности пламегасящего действия Al(OH)₃ незначительно уступают Mg(OH)₂ и каолин, который в интервале температур 400–550 °C теряет химически связанную воду, переходя в метакаолин [14].

Низкая эффективность Mg(OH)₂ в ПКМ на основе вторичного ПВХ обусловлена его высокой температурой начала интенсивного разложения $T_{н.р}$ (более 330 °C) по сравнению со вторичным ПВХ (~185 °C). Поэтому важным фактором, определяющим эффективность гидратсодержащих веществ как наполнителей-антипиренов ПКМ, является близость температур дегидратации наполнителя и начала интенсивного разложения полимера.

Мел повышает пожарную опасность ПВХ-материалов. Это обусловлено тем, что образующийся при дегидрохлорировании полимера HCl адсорбирует-

Таблица 4. Горючесть и дымообразующая способность вторичного ПВХ с различными наполнителями

Показатель	Каолин	Мел	Al(OH) ₃	Mg(OH) ₂	Талькомагнезит	Вторичный ПВХ
Температура, °C:						
$T_{н.р}$	203	210	200	215	200	213
$T_{св}$	440	440	450	440	410	400
КИ, %	30,9	27,9	32,2	29,6	28,9	28,3
$C_{пр}$, %	60	45	55	50	50	40
$V_{р.п}$, мм/с, при [O ₂] в окислителе 60 %	1,16	1,54	0,89	1,02	1,46	2,35
D_m , м ² /кг, в режиме:						
пиролиза	510	750	650	910	570	1090
горения	270	300	190	330	270	580
Примечание. Содержание разлагающихся наполнителей — 20 % масс.						

ся на поверхности наполнителя и не участвует во флегматизации пламени и ингибировании радикальных цепных процессов в газовой фазе. За счет взаимодействия мела с HCl образуется CaCl₂, стабильный в условиях горения ПВХ-материалов (температура испарения CaCl₂ превышает 1600 °C). В то же время Al(OH)₃, талькомагнезит и каолин практически не поглощают HCl. Так, например, концентрация HCl в продуктах пиролиза ПВХ при 800 °C, содержащего 20 % масс. наполнителей — мела, Mg(OH)₂, Al(OH)₃, талькомагнезита и каолина, составляет соответственно 0,384; 0,447; 0,452; 0,456 и 0,467 г/г. Взаимодействие CaCO₃ с HCl сопровождается значительным выделением тепла (~3900 кДж/кг), а разложение CaCO₃ на CaO и CO₂ протекает со значительной скоростью и с эндотермическим эффектом (1780 кДж/кг) при температурах выше 620 °C.

Влияние природы неорганических наполнителей на горючесть ПВХ-материалов становится особенно заметным при распространении пламени по

горизонтальной поверхности (табл. 4), так как при этом значительно возрастают потери тепла через конденсированную фазу $k_{фаз}$ волны горения, и, следовательно, параметры $C_{пр}$ и $V_{р.п}$ существенно зависят от теплофизических свойств материала и используемых наполнителей. Этим, в частности, и объясняется высокая эффективность пламегасящего действия каолина.

Горючесть наполненных резин во многом зависит от тепловой активности наполнителя и, следовательно, от теплофизических показателей материала (табл. 5). Причем чем выше удельная теплоемкость резин, тем больше их КИ [3]. Минимальной горючестью обладают резины на основе каучука СКС-30АРКМ-15, наполненные гидроксидами магния и алюминия. При этом теплотворная способность резин линейно снижается с 38,5 до 20,7 МДж/кг с ростом содержания Mg(OH)₂ до 39 % масс. Для исследованных резин наблюдается линейная зависимость $V_{р.п}$ от концентрации кислорода в окислителе. При этом резины с более низкой теплоемкостью имеют более высокие значения $V_{р.п}$.

С ростом степени наполнения закономерно снижается пожарная опасность ПКМ. Так, например, с увеличением содержания разлагающихся наполнителей до 50 % масс. температура воспламенения T_v резин на основе каучука СКС-30АРКМ-15 и пластифицированного полимера ЭД-20 возрастает на 10–45 °C: с 310 до 330–355 °C и с 270 до 280–310 °C соответственно (рис. 1). Низкие значения T_v пластифицированного эпоксидного полимера обусловлены высокой воспламеняемостью использованного пластификатора — диоктилфталата (температура вспышки $T_{всп}$ = 205 °C, $T_{св}$ = 358 °C), который при нагревании ПКМ легко мигрирует на поверхность образца. Температура самовоспламенения $T_{св}$ исследованных ПКМ повышается на 30–65 °C (см. рис. 1), а параметр $q_{кр}$ независимо от химической природы полимерной матрицы и разлагающегося наполнителя линейно увеличивается с ростом степени напол-

Таблица 5. Горючесть и дымообразующая способность резин на основе каучука СКС-30АРКМ-15 с различными наполнителями

Показатель	Al(OH) ₃	Mg(OH) ₂	Каолин	Мел
Удельная теплоемкость вулканизата, кДж/(кг·K)	1,39	1,50	1,23	1,25
Кислородный индекс, %	24,6	23,9	21,4	20,9
Предельная концентрация O ₂ $C_{пр}$, %	24,9	24,6	40,0	27,8
Теплота сгорания, кДж/кг	19259,3	20473,4	20515,3	18254,4
Коэффициент дымообразования D_m , м ² /кг, в режиме:				
пиролиза	200	650	600	470
пламенного горения	570	515	490	560
Примечание. Содержание неорганических наполнителей — 45 % масс., РШ — 24,2 % масс., индустриального масла И-8А — 15 % масс.				

нения на 3,7–9,0 кВт/м² для полимера ЭД-20 и на 1,0–1,2 кВт/м² для резин на основе СКС-30АРКМ-15. Линейно возрастает и предельная концентрация кислорода $C_{пр}$ для резин с повышением их степени наполнения (рис. 2). Зависимость КИ ПКМ от содержания разлагающихся минеральных наполнителей показана на рис. 3.

Для всех исследованных ПКМ в широком диапазоне степени наполнения с удовлетворительной степенью точности выполняется линейная зависимость величины 100/КИ от относительного содержания разлагающихся наполнителей (рис. 4). В соответствии с уравнением (1) тангенс угла наклона прямых к оси абсцисс $\operatorname{tg} \alpha$ определяется как:

$$\operatorname{tg} \alpha = q_n / [\gamma c_o (T_f - T_0)]. \quad (2)$$

Значения $\operatorname{tg} \alpha$ для исследованных ПКМ приведены в табл. 6.

Линейный характер зависимости 100/КИ от k позволяет получить простое соотношение, пригодное для расчета кислородного индекса ПКМ в виде:

$$\text{КИ} = 100 / (A - B k q_n), \quad (3)$$

где A — отношение 100/КИ для исходного полимера;

B — коэффициент пропорциональности.

Для различных наполненных полимеров в соответствии с уравнением (2)

$$\gamma \operatorname{tg} \alpha / q_n = 1 / [c_o (T_f - T_0)]. \quad (4)$$

Учитывая, что значения c_o , T_f и T_0 при диффузионном горении ПКМ приняты постоянными, ве-

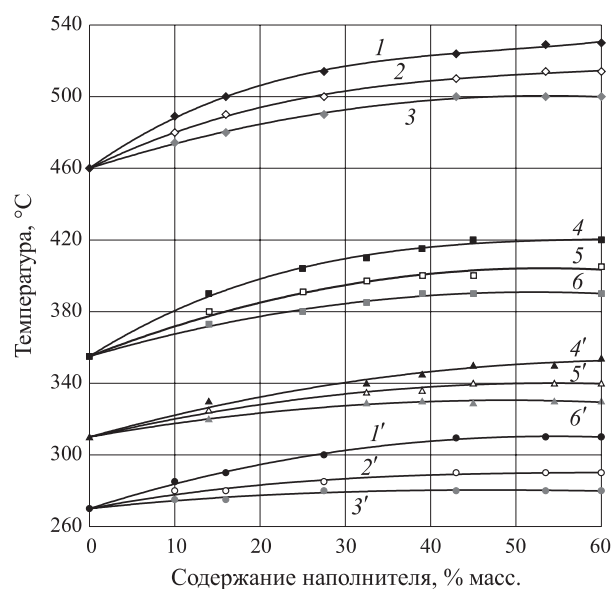


Рис. 1. Зависимость T_b ($I' \dots 6'$) и $T_{св}$ ($I \dots 6$) пластифицированного полимера ЭД-20 ($I \dots 3$, $I' \dots 3'$) и резин на основе каучука СКС-30АРКМ-15 ($4 \dots 6$, $4' \dots 6'$) от содержания разлагающихся наполнителей: 1, 1' — $\text{Al}(\text{OH})_3$; 2, 2', 4, 4' — $\text{Mg}(\text{OH})_2$; 3, 3', 6, 6' — мел; 5, 5' — каолин

личина $1/[c_o(T_f - T_0)] = c$ будет также постоянной ($c = \text{const}$), не зависящей от химической природы полимера и наполнителя. Этот вывод подтверждается данными табл. 7. Следовательно, коэффициент B может быть представлен в виде $B = c/\gamma$. Данное расчетное соотношение хорошо описывает все полученные экспериментальные результаты по оценке горючести ПКМ методом КИ, которые при испытании образуют свечеобразное пламя, не усложненное сильной карбонизацией, вспучиванием, образованием газонепроницаемой пленки и прочими подобными явлениями. Это соотношение может быть использовано для оценки абсолютных значений КИ различных ПКМ, а также применимо и для композиций, содержащих смесь различных наполнителей. В этом

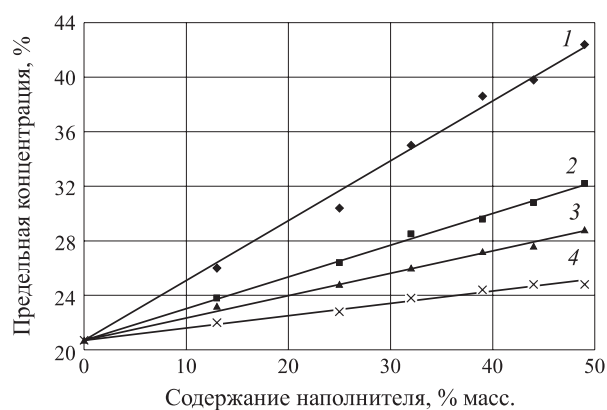


Рис. 2. Зависимость предельной концентрации кислорода при распространении пламени по горизонтальной поверхности резин от содержания минеральных наполнителей: 1 — каолин; 2 — SiO_2 ; 3 — мел; 4 — $\text{Mg}(\text{OH})_2$

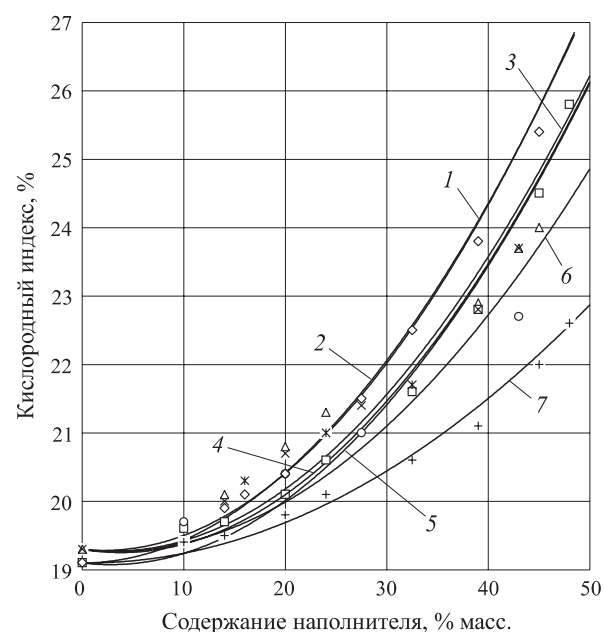


Рис. 3. Зависимость КИ резин на основе СКС-30АРКМ-15 (1, 2, 7) и пластифицированного полимера ЭД-20 (3...6) от содержания разлагающихся наполнителей: 1, 5 — $\text{Al}(\text{OH})_3$; 2, 4 — $\text{Mg}(\text{OH})_2$; 3 — лимонит; 6 — серпентин; 7 — каолин

Таблица 6. Значения $\text{tg}\alpha$ для ПКМ с различными наполнителями

ПКМ	Наполнитель	$\text{tg}\alpha$
Полиэтилен	$\text{Al}(\text{OH})_3$	0,94
Резины на основе каучука СКС-30АРКМ-15	Каолин	0,72
	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	1,39
	$\text{Al}(\text{OH})_3$	1,57
Полимер ЭД-20	Сerpентин	1,07
	$\text{Al}(\text{OH})_3$	1,2
	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	1,25
	Лимонит	1,32

Таблица 7. Термохимические характеристики ПКМ на пределе свечного горения

Полимер	$T_s - T_0, ^\circ\text{C}$	$\text{tg}\alpha$	$\gamma_{\text{эксп}}$	δ	$H - L, \text{кДж/кг}$	$Q_{\text{пот}}/\gamma, \text{кДж/кг}$
Полиэтилен	600	$\frac{0,32}{1,0}$	$\frac{2,7}{2,5}$	0,73	33460	5900
Полиоксиметилен	580	$\frac{1,0}{2,7}$	$\frac{0,85}{0,92}$	0,82	11700	5900
Полистирол	580	1,1	2,4	0,72	29700	5400
Полиметилметакрилат	560	$\frac{0,35}{0,57}$	$\frac{1,4}{1,5}$	0,76	19200	5900
АБС-пластик	580	$\frac{0,40}{1,1}$	$\frac{2,1}{2,2}$	0,70	28400	5900
Термопластичный полиуретан	570	$\frac{0,47}{1,3}$	$\frac{1,8}{1,8}$	0,80	23000	6300

Примечание. Над чертой приведены данные для ПКМ, наполненных LiF, под чертой — $\text{Al}(\text{OH})_3$.

случае kq_n представляется в виде суммы произведений $\sum (kq_n)_i$, соответствующих каждому компоненту комбинированного наполнителя.

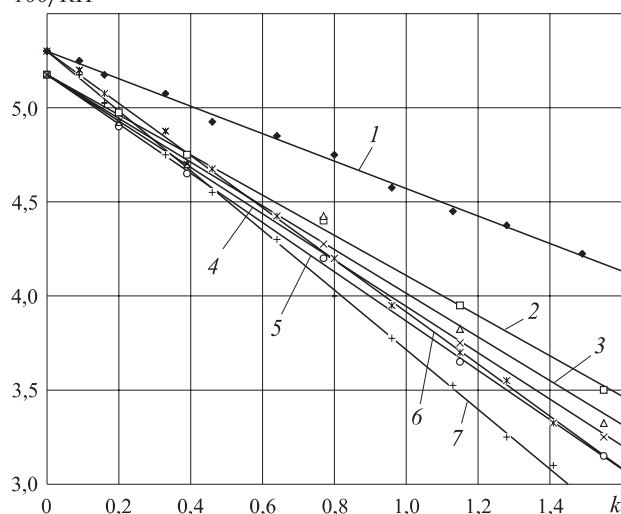
Для исследованных ПКМ в табл. 7 приведены значения $\text{tg}\alpha$, $\gamma_{\text{эксп}}$ и коэффициента полноты сгорания $\delta = \gamma_{\text{эксп}}/\gamma_{\text{теор}}$, рассчитанные по экспериментальным данным. Теоретический стехиометрический коэффициент сгорания рассчитан из условия полного сгорания продуктов пиролиза ПКМ до CO_2 и H_2O . Из табл. 7 следует, что по эффективности пламегасящего действия $\text{Al}(\text{OH})_3$ в 2,7–3,1 раза превосходит LiF и все неразлагающиеся наполнители.

Точка пересечения прямой зависимости $100/\text{КИ}$ от k с осью абсцисс (k_0) может быть использована для определения тепловых потерь от пламени при свечном горении ПКМ:

$$k_0 q_n = \frac{100}{\text{КИ}_0} \gamma (T_f - T_0) c_0, \quad (5)$$

где КИ_0 — кислородный индекс исходного полимера.

100/КИ

**Рис. 4.** Зависимость $100/\text{КИ}$ от k для резин на основе СКС-30АРКМ-15 (1, 5, 7) и пластифицированного полимера ЭД-20 (2...4, 6) с различными наполнителями: 1 — каолин; 2 — серпентин; 3, 7 — $\text{Al}(\text{OH})_3$; 4, 5 — $\text{Mg}(\text{OH})_2$; 6 — лимонит

Хорошее согласование полученных значений коэффициентов $\gamma_{\text{эксп}}$ и δ для ПКМ с аналогичными значениями для газообразных топлив [15] показывает, что на пределе свечного диффузионного горения $k_{\text{фаз}}$ не оказывает существенного влияния на термохимические характеристики топлива. В ведущей кромке пламени при свечном горении полимеров с точностью до 20 % сохраняется постоянное отношение H/γ , равное 13400 кДж/кг кислорода. На основе экспериментальных значений k_0 и $\gamma_{\text{эксп}}$ были оценены удельные тепловые потери в ведущей кромке пламени:

$$Q_{\text{пот}} = H - L - c_f (T_f - T_s) - k_0 q_n. \quad (6)$$

Для исследованных полимеров значения $H - L$ и $Q_{\text{пот}}/\gamma$ приведены в табл. 7.

Анализ результатов исследования (см. табл. 7) показывает, что тепловые потери от пламени для всех ПКМ независимо от химической природы полимерного связующего и минерального наполнителя при различной степени наполнения пропорциональны коэффициенту γ . Следовательно, можно считать, что в условиях измерения КИ $Q_{\text{пот}} = \gamma \cdot \text{const}$ (где $\text{const} = 5900$ кДж/кг). Это хорошо согласуется со значениями этой величины для газообразных топлив [14]. С учетом указанных поправок уравнение (1) хорошо описывает полученные в работе экспериментальные данные для ПКМ на основе полностью разлагающихся полимеров. В качестве примера в табл. 8 приведено сравнение рассчитанных по уравнению (1) и измеренных значений КИ для исходных термопластичных полимеров. При расчете использовали экспериментальные значения $\gamma_{\text{эксп}}$ и $Q_{\text{пот}}/\gamma = 5900$ кДж/кг.

Для полностью разлагающихся полимеров КИ определяется отношением теплоты сгорания к сте-

Таблица 8. Расчетные и экспериментальные значения КИ термопластичных полимеров

Полимер	Значение КИ, %	
	расчетное	экспериментальное
ПЭВД	17,3	17,4
ПОМ	14,8	15,0
ПС	18,6	18,2
ПММА	17,1	17,3
АБС	18,3	18,5
ТПУ	20,0	20,0

Таблица 9. Сравнение экспериментальных и расчетных параметров диффузионного горения ПКМ

Полимер	Экспериментальные		Расчетные	
	tgα	$k_0 q_n$	$\frac{q_n}{\gamma c_0 (T_f - T_0)}$	$\frac{100}{KI_0} \gamma (T_f - T_0) c_0$
Полиэтилен	<u>0,32</u> 1,00	<u>4,10</u> 3,90	<u>0,25</u> 0,73	<u>5,05</u> 5,05
Полиоксиметилен	<u>1,00</u> 2,70	<u>1,50</u> 1,69	<u>0,82</u> 2,30	<u>1,85</u> 1,85
Полистирол	0,33	2,24	0,17	4,16

Примечание. Над чертой приведены данные для ПКМ, наполненных LiF, под чертой — Al(OH)₃.

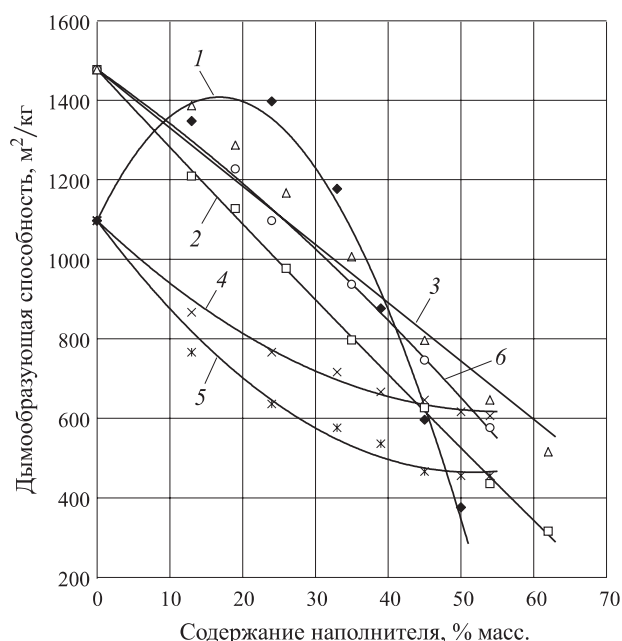
хиометрическому коэффициенту. Для большинства полимеров это соотношение меняется слабо, поэтому значения КИ близки (см. табл. 8) несмотря на значительное различие их теплот сгорания.

Для сравнения в табл. 9 приведены значения параметров диффузионного горения ПКМ на основе термопластичных полимеров, полученные экспериментально и рассчитанные по приведенным соотношениям. Данные табл. 9 подтверждают справедливость теплового подхода к анализу пределов свечного горения в ведущей кромке пламени. Значения $Q_{\text{пот}}/\gamma = 5900$ кДж/кг и $H/\gamma = 13400$ кДж/кг показывают, что теплотери составляют порядка 40 % от выделяющегося на пределе горения тепла. Это связано, по-видимому, с наличием конвективных теплотерь в условиях обтекающего пламя потока окислителя ($O_2 + N_2$). Наличие конвективных теплотерь приводит к известному различию предельных характеристик существования пламени и горения предварительно смешанных пламен. Следует отметить, что основные результаты, полученные в данной работе, хорошо согласуются с тепловой теорией пределов горения, развитой в трудах Я. Б. Зельдовича [16]. В табл. 9 приведены результаты сравнения экспериментальных и расчетных данных в виде отношения характерных параметров прямой (см. рис. 4) и соответствующих соотноше-

ний, рассчитанных по уравнению (1). При расчетах использовано значение γ , определенное из условия полного сгорания, что и обусловило наблюдаемые расхождения данных.

Исследованные ПКМ относятся к материалам с высокой дымообразующей способностью ($D_m > 500$ м²/кг). Причем коэффициент дымообразования в режиме пиролиза, как правило, значительно выше по сравнению с режимом пламенного горения. Коэффициент дымообразования D_m эпоксидных полимеров в режимах пламенного горения и пиролиза линейно уменьшается соответственно с 1170...1350 до 350...550 м²/кг и с 640...770 до 130...230 м²/кг при увеличении содержания минеральных наполнителей с 16 до 60 % масс. (рис. 5). Это свидетельствует об аддитивном влиянии связующего и наполнителя на дымообразующую способность ПКМ и позволяет для расчета D_m эпоксидных полимеров использовать данные по дымовыделению составляющих его компонентов.

Для синтетических материалов на основе каучука СКС-30АРКМ-15 и шинного регенерата РШ в режиме горения максимальные значения D_m реализуются при содержании наполнителя 15...25 % масс., после чего дымообразующая способность эластомеров снижается (см. рис. 5). С точки зрения дымовыделения эластомеров наиболее эффективным наполнителем является гидроксид алюминия, одновременно проявляющий и пламегасящее действие. Технический углерод, являющийся наиболее рас-

**Рис. 5.** Зависимость дымообразующей способности резин на основе каучука СКС-30АРКМ-15 (1, 4, 5) и пластифицированного полимера ЭД-20 (2, 3, 6) в режиме пиролиза от содержания разлагающихся минеральных наполнителей: 1 — каолин; 2, 4 — Mg(OH)₂; 3 — Al(OH)₃; 5, 6 — мел

пространственным наполнителем каучуков, значительно повышает дымообразующую способность резин, особенно в режиме пиролиза.

Таким образом, совокупность полученных в работе экспериментальных данных показывает, что основным параметром, определяющим влияние разлагающегося неорганического наполнителя на го-

рючесть ПКМ, является удельное количество тепла, поглощаемое наполнителем. Причем для всех исследованных наполнителей в широком диапазоне степени наполнения ПКМ с удовлетворительной степенью точности выполняется линейная зависимость величины $100/KI$ от относительного содержания наполнителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбачевич Г. М., Федеев С. С., Богданова В. В. Применение тригидрата оксида алюминия в качестве антипирена для полиолефинов // Пластические массы. — 1988. — № 4. — С. 50–52.
2. Ушков В. А., Лалаян В. М., Нагановский Ю. К., Кулев Д. Х. и др. Горючесть наполненных полиолефинов // Пластические массы. — 1988. — № 10. — С. 56–58.
3. Ушков В. А., Лалаян В. М., Абицев А. К., Морозова Н. Ю. Закономерность воспламенения и горения резин // Каучук и резина. — 1986. — № 3. — С. 8–11.
4. Ушков В. А., Абрамов В. В., Лалаян В. М., Кирьянова Л. В. Слабогорючие эпоксидные полимеррастворы, используемые для восстановления и ремонта строительных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 36–40.
5. Фомин Д. Л., Дебердеев Р. Я. Влияние гидроксидов алюминия и магния на свойства ПВХ-пластиков // Пластические массы. — 2012. — № 12. — С. 47–50.
6. Егоров А. Н. Влияние природы минеральных наполнителей на процессы горения полимерных материалов : автореф. дис. ... канд. хим. наук. — Иркутск : Иркутский ин-т химии им. А. Е. Фаворовского СО РАН, 2004. — 21 с.
7. Беспалов П. М., Гайдарова Л. Л., Андрианова Г. П., Топоров Ю. П. Сравнительная оценка различных видов гидроксида алюминия как антипирена в поливинилхлоридном покрытии искусственной кожи // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 1. — С. 17–19.
8. Нечаева Н. Н., Гайдарова Л. Л., Андрианова Г. П., Топоров Ю. П. Влияние различных модификаций гидроксида алюминия на свойства поливинилхлоридного покрытия искусственной кожи пониженной пожароопасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 3. — С. 49–51.
9. Гукешева Л. М., Тхакахов Р. Б., Бегретов М. М. и др. Влияние концентрации и степени измельчения антипирена-наполнителя на физические свойства ПВХ композиций // Пластические массы. — 2006. — № 6. — С. 13–14.
10. Еремина Т. Ю., Введенская Н. Б., Беляев В. П. Термические превращения алюминийсодержащих антипиренов // Пожаровзрывобезопасность. — 2001. — Т. 10, № 4. — С. 12–14.
11. Лалаян В. М., Скраливецкая М. С., Ушков В. А., Халтуринский Н. А. Термохимические параметры свечевого горения полимерных материалов вблизи предела // Химическая физика. — 1989. — Т. 8, № 1. — С. 112–116.
12. Баженов С. Л., Берлин А. А., Кульков А. А., Ошмян В. Г. Полимерные композиционные материалы. Прочность и технология. — Долгопрудный : Изд. дом “Интеллект”, 2010. — С. 278–296.
13. Брык М. Т. Деструкция наполненных полимеров. — М. : Химия, 1989. — 192 с.
14. Ушков В. А., Лалаян В. М., Булгаков Б. И., Кулев Д. Х. и др. Пожарная опасность и эксплуатационные свойства материалов на основе вторичного ПВХ // Пластические массы. — 1985. — № 9. — С. 53–56.
15. Лалаян В. М., Скраливецкая М. С., Халтуринский Н. А. Определение термохимических характеристик газообразного топлива на пределе диффузионного горения // Химическая физика. — 1988. — Т. 7, № 9. — С. 1283–1286.
16. Зельдович Я. Б., Баренблатт Г. И., Либрович В. Б., Махвиладзе Г. М. Математическая теория горения и взрыва. — М. : Наука, 1980. — 478 с.

Материал поступил в редакцию 29 апреля 2013 г.

FLAMMABILITY AND SMOKE GENERATION ABILITY OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS WITH DEGRADABLE MINERAL FILLERS

USHKOV V. A., Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory "Modern Composite Construction Materials", Institute of Construction and Architecture of Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: kurs-isa@mail.ru)

LALAYAN V. M., Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher, N. N. Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences (Kosygina St., 4, Moscow, 119334, Russian Federation)

LOMAKIN S. M., Candidate of Chemical Sciences, Head of Laboratory of Chemical Resistance of Polymers, N. M. Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences (Kosygina St., 4, Moscow, 119334, Russian Federation)

NEVZOROV D. I., Postgraduate of Polymer Building Materials and Applied Chemistry Department, Institute of Construction and Architecture of Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: nevzorovdi@yandex.ru)

ABSTRACT

The influence of the chemical nature of the content and decaying mineral fillers on the flammability and smoke generation capacity of polymer composite materials (PCM). It is revealed that the main parameter that determines the influence of mineral fillers, disintegrating the flammability PCM is a specific amount of heat absorbed by the filler. Shown that for all investigated PCM with a satisfactory degree of accuracy is performed 100/OI linear dependence of the relative content of degradable fillers. Thermochemical characteristics shown at the limit of combustion suppository thermoplastic polymer filled with lithium fluoride and $\text{Al}(\text{OH})_3$, and the calculated and experimental trials of such polymers. The calculated ratio was significantly describing the results of experimental research. Shown that decomposing fillers significantly reduce smoke generation capacity of polymer composites.

Keywords: flammability; degradable mineral filler; polymer composite material; oxygen index; specific heat; fire danger; coefficient of smoke.

REFERENCES

1. Gorbatsevich G. M., Fedeev S. S., Bogdanova V. V. Primeneniye trigidrata oksida alyuminiya v kachestve antipirena dlya poliolefinov [The use of alumina trihydrate as a flame retardant for polyolefins]. *Plasticheskiye massy — Plastic masses*, 1988, no. 4, pp. 50–52.
2. Ushkov V. A., Lalayan V. M., Naganovskiy Yu. K., Kulev D. Kh. et al. Goryuchest napolnennykh poliolefinov [Flammability filled polyolefins]. *Plasticheskiye massy — Plastic masses*, 1988, no. 10, pp. 56–58.
3. Ushkov V. A., Lalayan V. M., Naganovskiy Yu. K., Morozova N. Yu. Zakonomernost vosplameneniya i goreniya rezin [The regularity of inflammation and burning rubber]. *Kauchuk i rezina — Kauchuk and rubber*, 1986, no. 3, pp. 8–11.
4. Ushkov V. A., Abramov V. V., Lalayan V. M., Kiryanova L. V. Slabogoryuchiye epoksidnyye polimer-rastvory, ispolzuyemyye dlya vosstanovleniya i remonta stroitelnykh konstruktsiy [Hard combustible epoxy polymer solutions in restoration and repair of building constructions]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 36–40.
5. Fomin D. L., Deberdeev R. Ya. Vliyaniye gidroksidov alyuminiya i magniya na svoystva PVKh-plastikatov [Effect of magnesium and aluminum hydroxides on the properties of plasticized PVC]. *Plasticheskiye massy — Plastic masses*, 2012, no. 12, pp. 47–50.
6. Egorov A. N. *Vliyaniye prirody mineralnykh napolniteley na protsessy goreniya polimernykh materialov. Avtoref. dis. kand. khim. nauk* [Influence of mineral fillers combustion processes polymeric materials. Cand. chem. sci. diss.]. Irkutsk, Irkutsk Institute of Chemistry named by A. E. Favorovskiy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2004. 21 p.

7. Bespalov P. M., Gaydarova L. L., Andrianova G. P., Toporov Yu. P. Sravnitel'naya otsenka razlichnykh vidov gidroksida alyuminiya kak antipirena v polivinilkhlordnom pokrytii iskusstvennoy kozhi [Comparative evaluation of different types of aluminum hydroxide as a flame retardant in PVC-coated synthetic leather]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 1, pp. 17–19.
8. Nechaeva N. N., Gaydarova L. L., Andrianova G. P., Toporov Yu. P. Vliyaniye razlichnykh modifikatsiy gidroksida alyuminiya na svoystva polivinilkhlordnogo pokrytiya iskusstvennoy kozhi ponizhennoy pozharoopasnosti [Influence of different modifications of aluminium hydroxide on properties of polyvinylchloride coat of artificial leather with low fire risk]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 3, pp. 49–51.
9. Gukepsheva L. M., Tkhakakhov R. B., Begretov M. M. et al. Vliyaniye kontsentratsii i stepeni izmelcheniya antipirena-napolnitelya na fizicheskiye svoystva PVKh-kompozitsiy [Effect of concentration and degree of grinding retardant filler on the physical properties of PVC compounds]. *Plasticheskiye massy — Plastic masses*, 2006, no. 6, pp. 13–14.
10. Eremina T. Yu., Vvedenskaya N. B., Belyaev V. P. Termicheskiye prevrashcheniya alyuminiysoderzhashchikh antipirenov [Thermal transformation in aluminium-containing antipirens]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2001, vol. 10, no. 4, pp. 12–14.
11. Lalayan V. M., Skralivetskaya M. S., Ushkov V. A., Khalturinskiy N. A. Termokhimicheskiye parametry svechevogo goreniya polimernykh materialov vblizi predela [Thermochemical parameters candle burning plastics near the limit]. *Khimicheskaya fizika — Chemical Physics*, 1989, vol. 8, no. 1, pp. 112–116.
12. Bazhenov S. L., Berlin A. A., Kulkov A. A., Oshmyan V. G. *Polimernyye kompozitsionnyye materialy. Prochnost i tekhnologiya* [Polymer composite materials. Strength and technology]. Dolgoprudnyy, Intellect Publ., 2010, pp. 278–296.
13. Bryk M. T. *Destruktsiya napolnennykh polimerov* [Destruction of the filled polymer]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 192 p.
14. Ushkov V. A., Lalayan V. M., Bulgakov B. I., Kulev D. Kh. Pozharnaya opasnost i ekspluatatsionnyye svoystva materialov na osnove vtorichnogo PVKh [Fire hazards and performance properties of materials based on recycled PVC]. *Plasticheskiye massy — Plastic masses*, 1985, no. 9, pp. 53–56.
15. Lalayan V. M., Skralivetskaya M. S., Khalturinskiy N. A. Opredeleniye termokhimicheskikh kharakteristik gazoobraznogo topliva na predele diffuzionnogo goreniya [Determination of thermochemical properties of gaseous fuel to the limit diffusion combustion]. *Khimicheskaya fizika — Chemical Physics*, 1988, vol. 7, no. 9, pp. 1283–1286.
16. Zeldovich Ya. B., Barenblatt G. I., Librovich V. B., Makhviladze G. M. *Matematicheskaya teoriya goreniya i vzryva* [The mathematical theory of combustion and explosion]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 478 p.

Из пожарно-технического энциклопедического словаря

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ (КОМПОЗИТ) — материал неоднородной структуры, состоящий из нескольких однородных материалов (компонентов).

ОГНЕЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ — слой огнезащитного состава, полученный в результате обработки поверхности объекта огнезащиты.

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ — покрытия, применяемые для снижения пожарной опасности кабельных линий, выполненных силовыми (кроме маслonaполненных), контрольными кабелями и кабелями связи, прокладываемыми в кабельных сооружениях, а также по строительным конструкциям зданий.

ОГНЕЗАЩИТНЫЙ СОСТАВ — вещество или смесь веществ, обладающие огнезащитной эффективностью и специально предназначенные для огнезащиты различных объектов.

ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СОСТАВЫ И ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ И МАТЕРИАЛОВ НА ЕЕ ОСНОВЕ — составы, вещества (смесь веществ) или материалы, обладающие требуемой огнезащитной эффективностью и специально предназначенные для огнезащитной обработки различных объектов из древесины и материалов на ее основе.

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

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

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

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

УДК 614.841.41:547-302

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ. XI. ГАЛОГЕНАЛКАНЫ

Найдены эмпирические формулы для определения физико-химических и пожароопасных свойств бром-, иод- и фторалканов. Показано применение правила углеродной цепи и эффекта функциональной группы для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств галогеналканов.

Ключевые слова: бромалкан; иодалкан; фторалкан; правило; свойство; пожарная опасность; показатель.

В настоящей работе продолжено изучение взаимосвязи химического строения и пожароопасных свойств [1–10] и представлены результаты исследования органических соединений класса галогеналканов на примере бром-, иод- и фторалканов¹. Исходные данные для исследования взяты из электронных баз данных и справочной литературы [11–15]. Показатели пожарной опасности и физико-химических свойств галогеналканов линейного строения приведены в табл. 1–3.

Температура вспышки, как один из основных показателей пожарной опасности, широко применяется для классификации пожаровзрывоопасности при хранении, транспортировке и переработке воспламеняющихся жидкостей² [16]. В настоящее время существует обширная база полученных экспериментально характеристик горючих и легковоспламеняющихся жидкостей, однако немаловажное значение имеет развитие методов предсказания их пожаровзрывоопасных и физико-химических свойств. Первый метод расчета температуры вспышки жид-

костей был основан на использовании давления насыщенного пара ГЖ или ЛВЖ в качестве переменной [17]. Затем для прогнозирования температуры вспышки применялись такие показатели, как температура кипения, теплота парообразования, теплота сгорания и другие физико-химические свойства ГЖ или ЛВЖ [17, 18]. Прогнозирование температуры вспышки через температуру кипения удобно тем, что значение температуры кипения определено для большого диапазона органических соединений. Кроме того, наблюдается достаточно точная корреляция между этими показателями для различных рядов органических соединений. В частности, для бромалканов [19, 20] коэффициенты a и b в модифицированном уравнении Орманди–Крэвена (1) равны соответственно –49,56 и 0,665:

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

где $t_{\text{всп}}$, $t_{\text{кип}}$ – температура вспышки и кипения соответственно, °С.

На основании данных табл. 1 нами уточнено уравнение (1) и выведены новые значения эмпирических коэффициентов: $a = -37,55$; $b = 0,538$. Найдено, что формула (1) работает в диапазоне от C_1 до C_{18} с коэффициентом корреляции $r^2 = 0,9904$. Фор-

¹ Результаты исследования в ряду хлоралканов приведены в [9].

² Под воспламеняющимися жидкостями авторы понимают легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) и горючие (ГЖ) жидкости.

Таблица 1. Справочные [10–14] и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства линейных алкилбромидов

Бромалкан	Номер соединения (ОУЦ)	$H_{\text{пар}}$, кДж/моль	n_D	Температура, К			$C_{\text{н}}$, % (об.)	β	$C_{\text{стх}}$, % (об.)
				$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$			
CH_3Br	I (1)	23,9; 23,7		277,5; 276,6; 277; 282; 277; 278	229; 233; 228; 229; 238 ¹	810; 803; 809	10; 8,6; 9,9	1,5	12,3
$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$	II (2)	27,6; 28,0; 26,9 ²		311,4; 313; 313; 312; 311; 311 ²	250; 253; 251; 252; 256 ¹ ; 259 ²	783; 735; 744 ²	6; 6,7; 6,57; 7,07 ²	3	6,5
$\text{C}_3\text{H}_7\text{Br}$	III (3)	29,9; 31,1; 31,9 ²	1,434; 1,435; 1,434; 1,438	344; 343; 345; 344 ²	297; 272; 295; 271; 272; 273; 274 ¹ ; 271 ²	763; 673; 687; 661 ²	4,6; 4,23; 4,56 ²	4,5	4,5
$\text{C}_4\text{H}_9\text{Br}$	IV (4)	36,2; 33,7; 32,6 ²	1,4398; 1,441; 1,440; 1,443; 1,439 ²	374; 377; 372; 375; 376; 373 ²	297; 294; 283; 289; 290; 292; 290 ¹ ; 296 ²	538; 588; 592 ²	2,6; 2,5; 2,8; 2,7	6	3,4
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Br}$	V (5)	35,2; 36,0; 36,9 ²	1,444; 1,445; 1,444; 1,448; 1,444 ²	402; 403; 400; 403; 402 ²	303; 305; 306; 307; 309; 305 ¹ ; 307 ²	479; 528; 521 ²	1,78	7,5	2,7
$\text{C}_6\text{H}_{13}\text{Br}$	VI (6)	37,6; 38,1; 37,5 ²	1,4478; 1,448; 1,448; 1,450; 1,451; 1,447 ²	428; 429; 431; 426; 428; 429; 427 ²	320; 325; 321; 323; 325; 319 ¹ ; 320 ²	488; 516 ²	1,28	9	2,3
$\text{C}_7\text{H}_{15}\text{Br}$	VII (7)	39,8; 40,0; 39,8 ²	1,4502; 1,4499; 1,451; 1,452; 1,453; 1,450 ²	452; 453; 451; 452; 452 ²	333; 338; 335; 336; 337; 338; 332 ¹ ; 338 ²	575; 483; 490 ²	1; 1,48; 1,04	10,5	2
$\text{C}_8\text{H}_{17}\text{Br}$	VIII (8)	41,9; 41,9; 41,9 ²	1,452; 1,4503; 1,453; 1,454; 1,456; 1,452 ²	474; 475; 474; 475 ²	351; 353; 360; 349; 351; 344 ¹ ; 349 ²	491	0,85; 1,02 ²	12	1,7

Бромалкан	Номер соединения (ОУЦ)	$H_{\text{пар}}$, кДж/моль	n_D	Температура, К			C_H , % (об.)	β	$C_{\text{стх}}$, % (об.)
				$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$			
$C_9H_{19}Br$	IX (9)	43,9; 43,7	1,4522; 1,454; 1,455; 1,456; 1,457; 1,454 ²	498; 474; 496; 494; 493 ²	363; 361; 364; 356 ¹ ; 361 ²		0,8; 0,53	13,5	1,5
$C_{10}H_{21}Br$	X (10)	45,4	1,4557; 1,456; 1,457; 1,459; 1,456 ²	511; 517; 513; 515 ²	367; 371; 372; 369; 363 ¹ ; 373 ²			15	1,4
$C_{11}H_{23}Br$	XI (11)	47,2	1,4552; 1,457; 1,458; 1,460; 1,457 ²	532; 536; 531; 532; 530 ²	378; 386; 378; 382; 380; 375 ¹ ; 376 ²			16,5	1,3
$C_{12}H_{25}Br$	XII (12)	48,9	1,4583; 1,458; 1,459; 1,461; 1,458 ²	549; 454; 547; 549; 549 ²	383; 386; 390; 388; 384 ¹			18	1,2
$C_{13}H_{27}Br$	XIII (13)	50,6	1,46; 1,459; 1,460; 1,462; 1,459 ²	565; 570; 563; 565; 565 ²	397; 398; 395; 392 ²			19,5	1,1
$C_{14}H_{29}Br$	XIV (14)	52,3	1,4603; 1,46; 1,461; 1,463; 1,460 ²	581; 585; 579; 581; 580 ²	400; 403; 404; 402; 401 ¹			21	1
$C_{15}H_{31}Br$	XV (15)	54,1; 54,0	1,4611; 1,461; 1,462; 1,464; 1,461 ²	595; 599; 594; 596; 595 ²	407; 409; 410; 407; 409 ¹ ; 407 ²			22,5	0,93
$C_{16}H_{33}Br$	XVI (16)	55,6; 55,8	1,4618; 1,461; 1,463; 1,465	609; 611; 609; 611; 609 ²	413; 413; 414; 416 ¹ ; 413 ²			24	0,87
$C_{17}H_{35}Br$	XVII (17)	57,5; 57,5 ²	1,464; 1,462; 1,465; 1,462 ²	622; 622; 624; 625; 626 ²	418; 416; 417; 418; 419; 423 ¹ ; 419 ²			25,5	0,82

Бромалкан	Номер соединения (ОУЦ)	$H_{\text{пар}}$, кДж/моль	n_D	Температура, К			$C_{\text{н}}$, % (об.)	β	$C_{\text{стх}}$, % (об.)
				$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$			
$C_{18}H_{37}Br$	XVIII (18)	59,3; 59,2	1,4631; 1,464; 1,463; 1,466	643; 632; 639	424; 417; 418; 423; 430; 434 ¹			27	0,77

¹ Расчетные данные по уравнению (1).
² Расчетные данные по правилу углеродной цепи.

Примечания:
1. ОУЦ — основная углеродная цепь. Для линейных галогеналканов она равна числу атомов углерода в молекуле.
2. Курсивом выделены значения, спрогнозированные по формулам (3)–(15).

Таблица 2. Справочные [10–14] и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства иод- и фторалканов линейного строения

Продолжение табл. 2

Галоген-алкан	Номер соединения (ОУЦ)	n_D	Температура, К		β	$C_{\text{стх}}$, % (об.)
			$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$		
CH_3I	XIX (1)	1,5293; 1,531; 1,527; 1,532	315; 316; 315; 303	256; 258; 257; 254; 255 ¹	1,5	12,3
CH_3F	XX (1)	1,163; 1,160; 1,163	194,6; 195; 196; 197	159; 169; 168; 167; 176; 166 ¹	1,5	12,3
C_2H_5I	XXI (2)	1,5168; 1,513; 1,507; 1,514; 1,517 ²	345; 346; 346; 346 ²	294 ; 269; 345 ; 267; 268; 269; 272; 272 ¹ ; 271 ²	3	6,5
C_2H_5F	XXII (2)	1,3033; 1,303; 1,280	263; 263; 246; 245	183; 191; 194; 205 ¹	3	6,5
C_3H_7I	XXIII (3)	1,5051; 1,504; 1,499; 1,505; 1,507 ²	376; 375; 375; 380; 375 ²	317 ; 284; 285; 290; 289 ¹ ; 288 ²	4,5	4,5
C_3H_7F	XXIV (3)	1,321; 1,323; 1,310	286; 284; 283	213; 214	4,5	4,5

Галоген-алкан	Номер соединения (ОУЦ)	n_D	Температура, К		β	$C_{\text{стх}}$, % (об.)
			$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$		
C_4H_9I	XXV (3)	1,4998; 1,498; 1,494; 1,493; 1,500; 1,500 ²	403; 404; 403; 408; 403 ²	313 ; 306; 304; 307; 305 ¹ ; 300 ²	6	3,4
C_4H_9F	XXVI (4)	1,342; 1,333	311; 316	234; 235; 232	6	3,4
$C_5H_{11}I$	XXVII (5)	1,4959; 1,495; 1,490; 1,496; 1,496 ²	430; 429; 428; 430; 429; 434; 429 ²	316; 330 ; 321; 318 ¹ ; 322 ²	7,5	2,7
$C_5H_{11}F$	XXVIII (5)	1,3562; 1,36; 1,360; 1,358; 1,352	335; 336; 337; 345; 344	261; 250; 254; 255; 250; 252 ¹	7,5	2,7
$C_6H_{13}I$	XXIX (6)	1,4928; 1,492; 1,487; 1,493; 1,493 ²	454; 453; 454; 457; 453 ²	340; 346 ; 334; 336; 335; 331 ¹ ; 333 ²	9	2,3
$C_6H_{13}F$	XXX (6)	1,373; 1,3755; 1,374; 1,373; 1,369; 1,371 ²	366; 364; 370; 364 ²	289 ; 300 ; 273; 269; 272 ¹ ; 271 ²	9	2,3

Продолжение табл. 2

Окончание табл. 2

Галоген- алкан	Номер со- единения (ОУЦ)	n_D	Температура, К		β	$C_{\text{стх}}$, % (об.)
			$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$		
$C_7H_{15}I$	XXXI (7)	1,4904; 1,49; 1,485; 1,491; 1,490 ²	477; 478; 477; 477 ²	349; 368 ; 347; 346; 343 ¹ ; 349 ²	10,5	2
$C_7H_{15}F$	XXXII (7)	1,3821; 1,386; 1,386; 1,385; 1,382; 1,385 ²	393; 392; 391; 394; 389 ²	287; 291; 288; 293 ¹	10,5	2
$C_8H_{17}I$	XXXIII (8)	1,48729; 1,4878; 1,484; 1,489; 1,489 ²	498; 499; 500; 499; 498; 500 ²	360; 357; 353 ¹ ; 354 ²	12	1,7
$C_8H_{17}F$	XXXIV (8)	1,3952; 1,396; 1,396; 1,395; 1,393; 1,393 ²	403; 419; 416; 417 ²	315; 309; 307; 304 ² ; 306 ¹	12	1,7
$C_9H_{19}I$	XXXV (9)	1,49 ; 1,487; 1,482; 1,488; 1,486 ²	518; 527; 520; 519; 516; 518 ²	358; 390 ; 367; 365; 363 ¹ ; 366 ²	13,5	1,5
$C_9H_{19}F$	XXXVI (9)	1,40134; 1,403; 1,404; 1,402; 1,404 ²	442; 442; 437; 436 ²	321; 322; 326; 325; 330 ¹	13,5	1,5
$C_{10}H_{21}I$	XXXVII (10)	1,4858; 1,485; 1,481; 1,486; 1,486 ²	537; 539; 538; 534; 539 ²	372; 383 ; 376; 372; 373; 371 ¹ ; 371 ²	15	1,4
$C_{10}H_{21}F$	XXXVIII (10)	1,4144; 1,409; 1,411; 1,410	460; 461; 456; 457	342; 344; 345 ¹	15	1,4
$C_{11}H_{23}I$	XXXIX (11)	1,48 ; 1,4849; 1,480; 1,485; 1,485 ²	555; 556; 551; 554 ²	380; 386; 379; 378; 380; 380 ¹ ; 378 ²	16,5	1,3

Галоген- алкан	Номер со- единения (ОУЦ)	n_D	Температура, К		β	$C_{\text{стх}}$, % (об.)
			$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$		
$C_{11}H_{23}F$	XL (11)	1,417; 1,416	481; 475	358; 357; 363	16,5	1,3
$C_{12}H_{25}I$	XLI (12)	1,484; 1,479; 1,484	571; 572; 571; 567	383; 393; 385; 387 ¹	18	1,2
$C_{12}H_{25}F$	XLII (12)	1,42; 1,423; 1,421; 1,420	498; 498; 493	420 ; 379; 374; 373; 381 376 ¹	18	1,2

¹ Расчетные данные по уравнению (2).

² Расчетные данные по правилу углеродной цепи.

Примечание. Курсивом выделены значения, спрогнозированные по формулам (16)–(35).

мула (1) может использоваться для прогнозирования температуры вспышки бромалканов как линейного, так и изомерного строения.

В результате обработки данных для иод- и фторалканов (см. табл. 2) предложена зависимость (2) для предсказания температуры вспышки этих галогеналканов:

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

где $T_{\text{всп}}$, $T_{\text{кип}}$ – температура вспышки и кипения соответственно, К;

$a = -128,39$; $b = 21,57$; $c = 0,5$ ($r^2 = 0,9924$) — для иодалканов;

$a = 98,16$; $b = 0,025$; $c = 1,5$ ($r^2 = 0,9918$) — для фторалканов.

Обработка экспериментальных данных, приведенных в табл. 1 и 2, с помощью программного обеспечения “MS Excel” и “TableCurve 2D” (версия 5.01) позволила вывести эмпирические зависимости (3)–(35). Найденные уравнения (табл. 3–5) удовлетворительно описывают зависимости температуры кипения $T_{\text{кип}}$ и вспышки $T_{\text{всп}}$, показателя преломления n_D , нижнего концентрационного предела C_n от числа атомов углерода N_C , коэффициента β и стехиометрической концентрации $C_{\text{стх}}$ галогеналканов линейного строения. Предложены уравнения (13), (25) и (35), связывающие температуру вспышки соединений с температурой кипения $T_{\text{кип}}$ и длиной углеродной цепи N_C . Найденны также зависимости теплоты парообразования $H_{\text{пар}}$ от числа атомов углерода (формулы (14) и (15)). Установлено, что правило углеродной цепи [1–10] так же удовлетворительно работает в ряду галогеналканов.

Таблица 3. Уравнения для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств алкилбромидов

Показатель	Уравнение	Номер уравнения	r^2	Область применения
$T_{\text{кип}}, \text{К}$	$T_{\text{кип}} = 248,5 - 0,69N_C^2 + 33,7N_C$	3	0,9988	$1 \leq N_C \leq 18$
n_D	$n_D = 1,428 - 0,0012N_C + 0,014N_C^{0,5} - \frac{0,161}{N_C^{1,5}} + \frac{0,154}{N_C^2}$	4	0,9989	$3 \leq N_C \leq 18$
$T_{\text{всп}}, \text{К}$	$T_{\text{всп}} = 211,4 - 0,57N_C^2 + 21,7N_C$	5	0,9931	$1 \leq N_C \leq 18$
$C_H, \% \text{ об.}$	$C_H = 14,4 - 0,031N_C^3 + 0,68N_C^2 - 5,15N_C$	6	0,9905	$1 \leq N_C \leq 9$
$T_{\text{кип}}, \text{К}$	$T_{\text{кип}} = 0,01\beta^3 - 0,71\beta^2 + 26,73\beta + 238$	7	0,9998	$1 \leq N_C \leq 18$
n_D	$n_D = 1,499 - 0,0012\beta^{0,5} - \frac{0,1699}{\beta^{0,5}} + \frac{0,08}{\beta}$	8	0,9988	$3 \leq N_C \leq 18$
$T_{\text{всп}}, \text{К}$	$T_{\text{всп}} = -0,253\beta^2 + 14,5\beta + 211,4$	9	0,9931	$1 \leq N_C \leq 18$
$T_{\text{кип}}, \text{К}$	$T_{\text{кип}} = 86,8 + 3,4C_{\text{ctx}} + \frac{535,5}{C_{\text{ctx}}^{0,5}} - \frac{46,6}{C_{\text{ctx}}}$	10	0,9998	$1 \leq N_C \leq 18$
n_D	$n_D = 1,49 + 0,0005C_{\text{ctx}}^{1,5} - 0,027C_{\text{ctx}}^{0,5} - \frac{0,0004}{C_{\text{ctx}}^2}$	11	0,9989	$3 \leq N_C \leq 18$
$T_{\text{всп}}, \text{К}$	$T_{\text{всп}} = 200 + \frac{364,7}{C_{\text{ctx}}} - \frac{215,4}{C_{\text{ctx}}^2} + \frac{51,4}{C_{\text{ctx}}^3}$	12	0,9950	$1 \leq N_C \leq 18$
$T_{\text{всп}}, \text{К}$	$T_{\text{всп}} = 0,83T_{\text{кип}} - 6,03N_C + 5,12$	13	0,9940	$1 \leq N_C \leq 18$
$T_{\text{всп}}, \text{К}$	$T_{\text{всп}} = 25,636H_{\text{пар}}^{0,69}$	14	0,9912	$1 \leq N_C \leq 18$
$H_{\text{пар}}, \text{кДж/кг}$	$H_{\text{пар}} = 11,6 - 2,07N_C + 0,345N_C^{1,5} + 13,8N_C^{0,5}$	15	0,9940	$1 \leq N_C \leq 18$

Таблица 4. Уравнения для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств иодалканов

Показатель	Уравнение	Номер уравнения	r^2	Область применения
$T_{\text{кип}}, \text{К}$	$T_{\text{кип}} = 283,1 - 0,743N_C^2 + 33N_C$	16	0,999	$1 \leq N_C \leq 12$
n_D	$n_D = 1,46 + 0,067/\sqrt{N_C}$	17	0,991	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{всп}}, \text{К}$	$T_{\text{всп}} = 262,7 - 17,93N_C + 14,33N_C^2 - 2,47N_C^3 + 0,183N_C^4 - 0,005N_C^5$	18	0,991	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{кип}}, \text{К}$	$T_{\text{кип}} = 283,06 - 0,3303\beta^2 + 21,969\beta$	19	0,999	$1 \leq N_C \leq 12$
n_D	$n_D = 1,46 + 0,082/\beta^{0,5}$	20	0,991	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{всп}}, \text{К}$	$T_{\text{всп}} = 211,17 - 23,6\beta + 0,007\beta^3 + 66,4(\ln \beta)^2 + 390,77 \ln \beta / \beta^2$	21	0,991	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{кип}}, \text{К}$	$T_{\text{кип}} = 185,98 + 408,77/C_{\text{ctx}}^{0,5}$	22	0,995	$1 \leq N_C \leq 12$
n_D	$n_D = \sqrt{2,14 + 0,059C_{\text{ctx}}^{0,5}}$	23	0,994	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{всп}}, \text{К}$	$T_{\text{всп}} = 27,3C_{\text{ctx}} - 0,049C_{\text{ctx}}^3 + \frac{993,8 \ln C_{\text{ctx}}}{C_{\text{ctx}}} + \frac{565,24}{C_{\text{ctx}}^2} - 194,3$	24	0,992	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{всп}}, \text{К}$	$T_{\text{всп}} = 0,957T_{\text{кип}} - 10,33N_C - 37,95$	25	0,992	$1 \leq N_C \leq 12$

В табл. 6 и 7 приведены справочные данные и прогноз по уравнениям (1)–(25) и по правилу углеродной цепи свойств бром- и иодалканов изострое-ния. Для прогнозирования пожароопасных и физи-

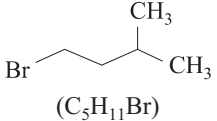
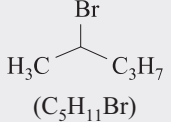
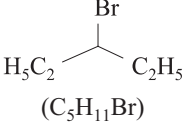
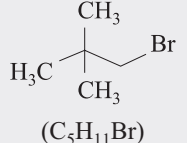
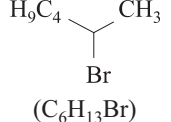
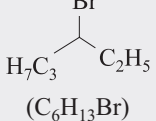
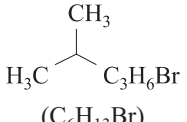
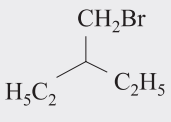
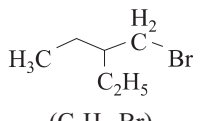
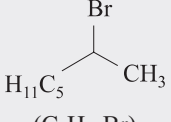
ко-химических показателей в найденные уравнения подставлялись значения условной углеродной цепи УУЦ [1–4], псевдокоэффициент β и псевдостехиометрическая концентрация [9]. Псевдостехиометри-

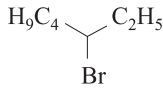
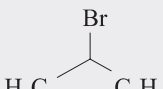
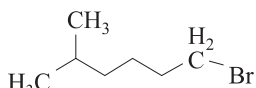
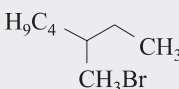
Таблица 5. Уравнения для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств фторалканов

Показатель	Уравнение	Номер уравнения	r^2	Область применения
$T_{\text{кип}}, \text{K}$	$T_{\text{кип}} = 55,2N_C - 1,45N_C^2 + 368,44/\sqrt{N_C} - 167/N_C^2 - 60,56$	16	0,998	$1 \leq N_C \leq 12$
n_D	$n_D = 1,49 - 0,94/N_C + 1,65/N_C^2 - 1,04/N_C^3$	17	0,999	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{всп}}, \text{K}$	$T_{\text{всп}} = 167,8 + 23,93N_C^{0,5} \ln N_C$	18	0,993	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{кип}}, \text{K}$	$T_{\text{кип}} = 75,28 + 98,36\beta^{0,5}$	19	0,991	$1 \leq N_C \leq 12$
n_D	$n_D = 1,68 - 0,0004\beta^{1,5} - 1,04/\beta^{0,5} + 1,85 \ln \beta/\beta^2$	20	0,999	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{всп}}, \text{K}$	$T_{\text{всп}} = 158 + 17,51\beta^{0,5} \ln \beta$	21	0,992	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{кип}}, \text{K}$	$T_{\text{кип}} = 65,93 + 459,11/C_{\text{ctx}}^{0,5}$	22	0,991	$1 \leq N_C \leq 12$
n_D	$n_D = 1,63 - 0,25C_{\text{ctx}} + 0,126C_{\text{ctx}}^{1,5} - 0,019C_{\text{ctx}}^2 - 0,06/C_{\text{ctx}}$	23	0,9992	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{всп}}, \text{K}$	$T_{\text{всп}} = 154,24 + 262,16/C_{\text{ctx}}$	24	0,990	$1 \leq N_C \leq 12$
$T_{\text{всп}}, \text{K}$	$T_{\text{всп}} = 0,21T_{\text{кип}} + 12,89N_C + 117,19$	25	0,993	$1 \leq N_C \leq 12$

Таблица 6. Справочные [10–14] и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства бромалканов изостроения

Структурная формула (брутто-формула)	Номер соединения (УУЦ)	$H_{\text{пар}},$ кДж/моль	n_D	Температура, К			$C_{\text{н}},$ % (об.)	β	$C_{\text{ctx}},$ % (об.)
				$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$			
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{C} - \text{Br} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$ $(\text{C}_3\text{H}_7\text{Br})$	XLIII (2,5)	28,3; 29,7; 28,8 ²	1,4251; 1,425	332; 328; 329; 328 ²	292; 262; 261; 270 ²	724 ²	4,6; 5,3; 5,5 ²	3,8	5,3
$\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ $(\text{C}_4\text{H}_9\text{Br})$	XLIV (3)	29,3; 31,2; 31,9 ²	1,4249; 1,435; 1,435; 1,434; 1,438	346; 365; 343; 345; 344 ²	289; 291; 271; 272; 271 ²	661 ²	4,3; 4,56 ²	4,5	4,5
$\begin{array}{c} \text{Br} \\ \diagdown \\ \text{C} - \text{C}_2\text{H}_5 \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$ $(\text{C}_4\text{H}_9\text{Br})$	XLV (3,5)	30,8; 32,5; 33,1 ²	1,4342; 1,437; 1,438; 1,437; 1,441; 1,437 ²	364; 358; 360; 361; 360 ²	294; 288; 280; 281; 290 ²	538; 617 ²	2,6; 2,5; 3,4; 3,6 ²	5,3	3,8
$\begin{array}{c} \text{Br} - \text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_3) - \text{CH}_3 \end{array}$ $(\text{C}_4\text{H}_9\text{Br})$	XLVI (3,5)	32,5; 33,1 ²	1,4391; 1,435; 1,438; 1,437; 1,441; 1,437 ²	364; 365; 358; 360; 361; 360 ²	291; 280; 281; 290 ²	617 ²	3,4	5,3	3,8
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{Br} - \text{C} - \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ $(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Br})$	XLVII (4)	33,2; 33,8; 32,6 ²	1,443; 1,4423; 1,441; 1,440; 1,443; 1,439 ²	381; 380; 372; 375; 376; 373 ²	278; 289; 290; 296 ²	592 ²	2,7	6,0	3,4
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{Br} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ $(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Br})$	XLVIII (4)	33,8; 32,6 ²	1,44; 1,436; 1,441; 1,440; 1,443; 1,439 ²	379; 372; 375; 376; 373 ²	279; 280; 289; 290; 296 ²	592 ²	2,7	6,0	3,4

Структурная формула (брутто-формула)	Номер соединения (УУЦ)	$H_{\text{пар}}$, кДж/моль	n_D	Температура, К			C_H , % (об.)	β	$C_{\text{стх}}$, % (об.)
				$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$			
 (C ₅ H ₁₁ Br)	XLIX (4,5)	36,6; 34,9; 35,7 ²	1,4433; 1,4409; 1,443; 1,442; 1,446; 1,442 ²	394; 395; 386; 389; 390; 389 ²	295; 305; 298; 299; 298 ²	529 ²	2,2	6,8	3,0
 (C ₅ H ₁₁ Br)	L (4,5)	34,9; 35,7 ²	1,44; 1,443; 1,442; 1,446; 1,442 ²	390; 386; 389; 390; 389 ²	293; 298; 299; 298 ²	529 ²	2,2	6,8	3,0
 (C ₅ H ₁₁ Br)	LI (4,5)	34,9; 35,7 ²	1,4441; 1,445; 1,443; 1,442; 1,446; 1,442 ²	392; 386; 389; 390; 389 ²	291; 292; 298; 299; 298 ²	529 ²	2,2	6,8	3,0
 (C ₅ H ₁₁ Br)	LII (4)	33,8; 32,6 ²	1,44; 1,436; 1,441; 1,440; 1,443; 1,439 ²	379; 372; 375; 376; 373 ²	279; 280; 289; 290; 296 ²	592 ²	2,7	6,0	3,4
 (C ₆ H ₁₃ Br)	LIII (5,5)	37,1; 36,4 ²	1,44; 1,447; 1,446; 1,449; 1,446 ²	417; 413; 416; 416 ²	320; 314; 315; 313 ²	496 ²	1,5	8,3	2,5
 (C ₆ H ₁₃ Br)	LIV (5,5)	37,1; 36,4 ²	1,45; 1,447; 1,446; 1,449; 1,446 ²	417; 413; 416; 416 ²	319; 314; 315; 313 ²	496 ²	1,5	8,3	2,5
 (C ₆ H ₁₃ Br)	LV (5,5)	37,1; 36,4 ²	1,4496; 1,446; 1,447; 1,446; 1,449; 1,446 ²	419; 413; 416; 416 ²	317; 314; 315; 313 ²	496 ²	1,5	8,3	2,5
 (C ₆ H ₁₃ Br)	LVI (5,5)	37,1; 36,4 ²	1,4512; 1,447; 1,446; 1,449; 1,446 ²	418; 413; 416; 416 ²	308; 314; 315; 313 ²	496 ²	1,5	8,3	2,5
 (C ₆ H ₁₃ Br)	LVII (5,5)	37,1; 36,4 ²	1,4498; 1,447; 1,446; 1,449; 1,446 ²	417; 413; 416; 416 ²	309; 314; 315; 313 ²	496 ²	1,5	8,3	2,5
 (C ₇ H ₁₅ Br)	LVIII (6,5)	39,1; 38,7 ²	1,447; 1,45; 1,449; 1,452; 1,449 ²	438; 440; 441; 441 ²	327; 328; 329; 330; 328 ²	509 ²	1,2	9,8	2,1

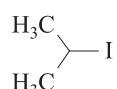
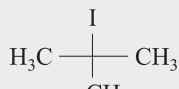
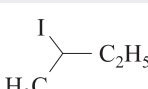
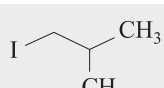
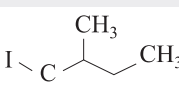
Структурная формула (брутто-формула)	Номер соединения (УУЦ)	$H_{\text{пар}}$, кДж/моль	n_D	Температура, К			$C_{\text{н}}$, % (об.)	β	$C_{\text{стх}}$, % (об.)
				$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$	$T_{\text{свс}}$			
 (C ₇ H ₁₅ Br)	LIX (6,5)	39,1; 38,7 ²	1,45; 1,45; 1,449; 1,452; 1,449 ²	413; 438; 440; 441; 441 ²	328; 329; 330; 328 ²	509 ²	1,2	9,8	2,1
 (C ₇ H ₁₅ Br)	LX (6,5)	39,1; 38,7 ²	1,4489; 1,45; 1,449; 1,452; 1,449 ²	438; 438; 440; 441; 441 ²	328; 329; 330; 328 ²	509 ²	1,2	9,8	2,1
 (C ₇ H ₁₅ Br)	LXI (6,5)	39,1; 38,7 ²	1,45; 1,45; 1,449; 1,452; 1,449 ²	436; 438; 440; 441; 441 ²	321; 328; 329; 330; 328 ²	509 ²	1,2	9,8	2,1
 (C ₈ H ₁₇ Br)	LXII (7,5)	41,1; 40,9 ²	1,45; 1,452; 1,451; 1,455; 1,451 ²	462; 463; 463 ²	326; 342; 343; 345 ²	510 ²	1	11,3	1,8

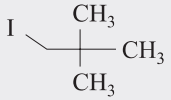
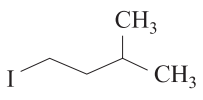
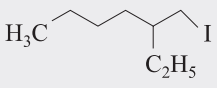
^{1, 2} Прогноз соответственно по уравнению (1) и по правилу углеродной цепи.

Примечания:

1. Для прогнозирования свойств бромалканов нелинейного строения в формулы (7)–(9) подставлялся псевдокоэффициент β .
2. Псевдостехиометрическая концентрация определялась через псевдокоэффициент β .
3. Курсивом выделены значения, спрогнозированные по формулам (3)–(15).

Таблица 7. Справочные [10–14] и расчетные физико-химические и пожароопасные свойства иодалканов изостроения

Структурная формула (брутто-формула)	Номер хлор- алкана (УУЦ)	n_D	Температура, К		β	$C_{\text{стх}}$, % (об.)
			$T_{\text{кип}}$	$T_{\text{всп}}$		
 (C ₃ H ₇ I)	LXIII (2,5)	1,5026; 1,498; 1,502; 1,509; 1,510 ²	363; 361; 363; 361 ²	271; 315; 276; 277 ²	3,8	5,3
 (C ₄ H ₉ I)	LXIV (3)	1,4866; 1,491; 1,499; 1,505; 1,507 ²	372; 383; 375; 380; 375 ²	280; 281; 285; 288 ²	4,5	4,5
 (C ₄ H ₉ I)	LXV (3,5)	1,4989; 1,499; 1,496; 1,502; 1,502 ²	392; 393; 389; 394; 390 ²	297; 294; 295 ²	5,3	3,8
 (C ₄ H ₉ I)	LXVI (3,5)	1,49429; 1,496; 1,496; 1,502; 1,502 ²	393; 394; 389; 390 ²	285; 286; 294; 295 ²	5,3	3,8
 (C ₅ H ₁₁ I)	LXVII (4,5)	1,497; 1,492; 1,497; 1,497 ²	421; 417; 416; 421; 417 ²	315; 316; 313; 311 ²	6,8	3,0

Структурная формула (брутто-формула)	Номер хлор- алкана (УУЦ)	n_D	Температура, К		β	$C_{стх}$, % (об.)
			$T_{кип}$	$T_{всп}$		
 (C ₅ H ₁₁ I)	LXVIII (4)	1,489; <i>1,494</i> ; <i>1,493</i> ; <i>1,500</i> ; <i>1,500</i> ²	399; <i>403</i> ; <i>408</i> ; <i>403</i> ²	306; <i>304</i> ; <i>300</i> ²	6,0	3,4
 (C ₅ H ₁₁ I)	LXIX (4,5)	1,49; <i>1,492</i> ; <i>1,492</i> ; <i>1,497</i> ; <i>1,497</i> ²	421; <i>422</i> ; <i>417</i> ; <i>416</i> ; <i>421</i> ; <i>417</i> ²	313; <i>322</i> ; <i>319</i> ; <i>313</i> ; <i>311</i> ²	6,8	3,0
 (C ₈ H ₁₇ I)	LXX (7,5)	1,491; <i>1,484</i> ; <i>1,490</i> ; <i>1,489</i> ²	<i>489</i> ; <i>488</i> ; <i>488</i> ²	352; <i>353</i> ; <i>352</i> ; <i>355</i> ²	11,3	1,8

^{1, 2} Прогноз соответственно по уравнению (2) и по правилу углеродной цепи.

Примечания:

1. Для прогнозирования свойств иодалканов нелинейного строения в формулы (19)–(21) подставлялся псевдокоэффициент β .
2. Псевдостехиометрическая концентрация определялась через псевдокоэффициент β .
3. Курсивом выделены значения, спрогнозированные по формулам (16)–(25).

ческая концентрация определена через псевдокоэффициент β : $\beta = \text{УУЦ} + (2\text{УУЦ} + 1 - N_X)/4$ (где N_X — число атомов галогена).

В процессе вывода уравнений (1)–(35) выявлены сомнительные литературные значения показателей физико-химических и пожаровзрывоопасных свойств галогеналканов, которые выделены жирным шрифтом в табл. 1, 2, 6 и 7.

Сравнивая свойства соединений (L) и (LI); (LIII) и (LIV); (LVIII), (LIX) и (LX); (LXV) и (LXVI); (LXVII) и (LXIX), можно заметить, что перемещение метильной группы или атома галогена вдоль линейной цепи практически не влияет на свойства этих соединений. Таким образом, эффект функциональной группы, обнаруженный в гомологических рядах

алифатических кетонов, спиртов, эфиров и других соединений [1–10, 21], проявляется и в случае бром- и иодалканов.

С учетом данных работы [9] можно сделать вывод, что в ряду галогенов $F \rightarrow Cl \rightarrow Br \rightarrow I$ с увеличением массы атома галогена температуры вспышки и кипения повышаются, а температура самовоспламенения снижается.

В заключение отметим, что найденные эмпирические уравнения (1)–(35) с учетом правила углеродной цепи могут быть использованы для прогнозирования неизвестных физико-химических параметров и показателей пожарной опасности, а также для выявления ошибок в экспериментальных данных в ряду галогеналканов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолаы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30.
2. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 8–15.
3. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 8–13.
4. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IV. Простые эфиры // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 9–16.
5. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. V. Карбоновые кислоты // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 7. — С. 35–46.

6. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VI. Альдегиды // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 29–37.
7. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Смирнов В. В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VII. Нитроалканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 22–24.
8. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 31–57.
9. Смирнов В. В., Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Животинская Л. О. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IX. Хлоралканы // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 13–21.
10. Алексеев С. Г., Алексеев К. С., Животинская Л. О., Барбин Н. М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. X. Сложные эфиры (часть 2) // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 5. — С. 9–19.
11. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (дата обращения: 15.11.2012 г.).
12. База данных университета Akron. URL : <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd> (дата обращения: 15.11.2012 г.).
13. Chemical Database DIPPR 801 (Brigham Young University). URL : <http://www.aiche.org/dippr> (дата обращения: 15.07.2012 г.).
14. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с.; Ч. 2. — 774 с.
15. Болотников М. Ф., Неручев Ю. А. Температуры плавления и кипения соединений в гомологических рядах моногалоген-н-алканов // Журнал физической химии. — 2007. — Т. 81, № 8. — С. 1364–1369.
16. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть I. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 35–41.
17. Алексеев С. Г., Смирнов В. В., Барбин Н. М. Температура вспышки. Часть II. Расчет через температуру насыщенного пара // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 20–34.
18. Rowley J. Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. — Brigham Young University, 2010. — 261 p.
19. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91 г. — Доступ из сборника НСИС ПБ. — 2012. — № 2 (48).
20. Шебеко Ю. Н., Навеця В. Ю., Копылов С. Н. и др. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов : руководство. — М. : ВНИИПО, 2002. — 77 с.
21. Алексеев К. С., Барбин Н. М., Алексеев С. Г. Показатели пожарной опасности и эффект положения функциональной группы // Безопасность критических инфраструктур и территорий : Матер. IV Всерос. конф. и XIV Школы молодых ученых. — Екатеринбург : УрО РАН, 2011. — С. 80–81.

Материал поступил в редакцию 18 марта 2013 г.

English

CORRELATION OF FIRE HAZARD CHARACTERISTICS WITH CHEMICAL STRUCTURE. XI. HALOALKANES

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

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

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

KALACH A. V., Doctor of Chemistry Sciences, Docent, Vice-Rector on Scientific Work of Voronezh Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Krasnoznamennaya St., 231, Voronezh, 394052, Russian Federation; e-mail address: a_kalach@mail.ru)

ABSTRACT

The correlation of chemical structure and fire-dangerous properties is studied in number of haloalkanes. The carbon rule well works for these compounds. The empirical equations of calculation are offered for boiling point (T_b (K) = $248,5 - 0,69N_C^2 + 33,7N_C$, T_b (K) = $0,01\beta^3 - 0,71\beta^2 + 26,73\beta + 238$, T_b (K) = $86,8 + 3,4C_s + 535,5/C_s^{0,5} - 46,6/C_s$ — for bromoalkanes; T_b (K) = $283,1 - 0,743N_C^2 + 33N_C$, T_b (K) = $283,06 - 0,3303\beta^2 + 21,969\beta$, T_b (K) = $185,98 + 408,77/C_s^{0,5}$ — for iodoalkanes; T_b (K) = $55,2N_C - 1,45N_C^2 + 368,44/N_C^{0,5} - 167/N_C^2 - 60,56$, T_b (K) = $75,28 + 98,36\beta^{0,5}$, T_b (K) = $65,93 + 459,11/C_s^{0,5}$ — for fluoroalkanes); flash point (FP (K) = $211,4 - 0,57N_C^2 + 21,7N_C$, FP (K) = $-0,253\beta^2 + 14,5\beta + 211,4$, FP (K) = $200 + 364,7/C_s - 215,4/C_s^2 + 51,4/C_s^3$, FP (K) = $0,83T_b - 6,03N_C + 5,12$, FP (K) = $25,636H_v^{0,69}$ — for bromoalkanes; FP (K) = $262,7 - 17,93N_C + 14,33N_C^2 - 2,47N_C^3 + 0,183N_C^4 - 0,005N_C^5$, FP (K) = $211,17 - 23,6\beta + 0,007\beta^3 + 66,4(\ln \beta)^2 + (390,77 \ln \beta)/\beta^2$, FP (K) = $27,3C_s - 0,049C_s^3 + (993,8 \ln C_s)/C_s + 565,24/C_s^2 - 194,3$, FP (K) = $0,957T_b - 10,33N_C - 37,95$, FP (K) = $21,57T_b^{0,5} - 128,39$ — for iodoalkanes; FP (K) = $167,8 + 23,93N_C^{0,5} \ln N_C$, FP (K) = $158 + 17,51\beta^{0,5} \ln \beta$, FP (K) = $154,24 + 262,16/C_s$, FP (K) = $0,21T_b + 12,89N_C + 117,19$, FP (K) = $0,025T_b^{1,5} + 98,16$ — for fluoroalkanes); refractive index ($n_D = 1,428 - 0,0012N_C + 0,014N_C^{0,5} - 0,161/N_C^{1,5} + 0,154/N_C^2$, $n_D = 1,499 - 0,0012\beta^{0,5} - 0,1699/\beta^{0,5} + 0,08/\beta$, $n_D = 1,49 + 0,0005C_s^{1,5} - 0,027C_s^{0,5} - 0,0004/C_s^2$ — for bromoalkanes; $n_D = 1,46 + 0,067/N_C^{0,5}$, $n_D = 1,46 + 0,082/\beta^{0,5}$, $n_D = (2,14 + 0,059C_s^{0,5})^{0,5}$ — for iodoalkanes; $n_D = 1,49 - 0,94/N_C + 1,65/N_C^2 - 1,04/N_C^3$, $n_D = 1,68 - 0,0004\beta^{1,5} - 1,04/\beta^{0,5} + (1,85 \ln \beta)/\beta^2$, $n_D = 1,63 - 0,25C_s + 0,126C_s^{1,5} - 0,019C_s^2 - 0,06/C_s$ — for fluoroalkanes); lower flammability limit (LFL (%)) = $14,4 - 0,031N_C^3 + 0,68N_C^2 - 5,15N_C$) and heat of vaporization (H_v , (kJ/mole)) = $11,6 - 2,07N_C + 0,345N_C^{1,5} + 13,8N_C^{0,5}$ — for bromoalkanes). For normal haloalkanes N_C is number of carbon atoms, $\beta = 1,5N_C$; C_s is the stoichiometric concentration. For isomeric compounds N_C is the conventional carbon chain, β -pseudo-factor: $\beta = N_C + (2N_C + 1 - N_{hal})/4$; C_s is the pseudo-stoichiometric concentration. In the modified Ormandy-Craven's formula the values of coefficients a (–37,55) and b (0,538) are improved for bromoalkanes.

Keywords: bromoalkane; iodoalkane; fluoroalkane; rule; property; fire hazard; properties.

REFERENCES

1. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. I. Alkanoly [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. I. Alcohols]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2010, vol. 19, no. 5, pp. 23–30. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2010> (Accessed 20 January 2013).
2. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. II. Ketony (chast 1) [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. II. Ketones (part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 6, pp. 8–15. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 20 January 2013).
3. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. III. Ketony (chast 2) [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. III. Ketones (part 2)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 8–13. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 20 January 2013).
4. Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Svyaz pokazateley pozharnoy opasnosti s khimicheskimi stroeniyem. IV. Prostyye efiry [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. IV. Ethers]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 9–16. Available at: <http://fire-smi.ru/arhivpvb2011> (Accessed 20 January 2013).

5. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniyem. V. Karbonovyye kisloty [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. V. Carboxylic acids]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no 7, pp. 35–46. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1025781> (Accessed 20 January 2013).
6. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VI. Aldegidy [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. VI. Aldehydes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 29–37. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1032598> (Accessed 20 January 2013).
7. Alexeev S. G., Barbin N. M., Smirnov V. V. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VII. Nitroalkany [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. VII. Nitroalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 12, pp. 22–24. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1080352> (Accessed 20 January 2013).
8. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniyem. VIII. Slozhnyye efiry (chast 1) [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. VIII. Esters (Part 1)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 31–57. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1102946> (Accessed 2 March 2013).
9. Smirnov V. V., Alexeev S. G., Barbin N. M., Zhivotinskaya L. O. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniyem. IX. Khlorkalkany [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. IX. Chloroalkanes]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 13–21.
10. Alexeev S. G., Alexeev K. S., Zhivotinskaya L. O., Barbin N. M. Svyaz pokazateley pozharney opasnosti s khimicheskim stroeniyem. X. Slozhnyye efiry (chast 2) [Correlation of Fire Hazard Characteristics with Chemical Structure. X. Esters (Part 2)]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 9–19.
11. Sigma-Aldrich database. Available at: <http://www.sigma-aldrich.com/catalog> (Accessed 15 November 2012).
12. Akron University database. Available at: <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd> (Accessed 15 November 2012).
13. Chemical Database DIPPR 801. Available at: <http://www.aiche.org/dippr> (Accessed 15 July 2012).
14. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvopasnost veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya: spravochnik* [Fire and explosive hazard of compounds and materials, and their fire extinguishing means. Handbook]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, vol. 1, 713 p., vol. 2, 774 p.
15. Bolotnikov M. F., Neruchev Yu. A. The melting and boiling points of compounds in homologous series of monohalogenated *n*-alkanes. *Russian Journal of Physical Chemistry A, Focus on Chemistry*, 2007, vol. 81, no. 8, pp. 1364–1369.
16. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast I. Istoriya voprosa, definitsii, metody eksperimentalnogo opredeleniya [Flash Point. Part I. Question History, Definitions and Test Methods of Determination]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 35–41. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1025030> (Accessed 20 January 2013).
17. Alexeev S. G., Smirnov V. V., Barbin N. M. Temperatura vspyshki. Chast II. Raschet cherez temperaturu nasyshchennogo para [Flash Point. Part II. Calculation with saturated steam temperature]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 20–34. Available at: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1043314> (Accessed 28 February 2013).
18. Rowley J. *Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction*: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. Brigham Young University, 2010. 261 p.
19. Russian State Standard 12.1.044–89*. *Occupational Safety Standards System. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indices and methods of their determination*. NSIS PB, 2012, issue 1 (47) (in Russian).
20. Shebeko Yu. N., Navtsenya V. Yu., Kopylov S. N. et al. *Raschet osnovnykh pokazateley pozharovzryvopasnosti veshchestv i materialov: rukovodstvo* [Calculation of main fire and explosion indices of compounds and materials. Manual]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2002. 77 p.
21. Alexeev K. S., Barbin N. M., Alexeev S. G. Pokazateli pozharney opasnosti i effekt polozheniya funktsionalnoy gruppy [Indices of fire hazard and the effect of a functional group]. *Trudy IV Vserossiyskoy konferentsii i XIV Shkoly molodykh uchenykh “Bezopasnost kriticheskikh infrastruktur i territoriy”* [Proc. IV All Russian conf. and XIV School of young scientists “Safety of critical infrastructures and territories”]. Yekaterinburg, 2011, pp. 80–81.

А. А. САРЫМСАКОВ, д-р техн. наук, профессор,
зам. директора Института химии и физики полимеров АН РУз
(Узбекистан, 100128, г. Ташкент, ул. А. Кадыри, 76; e-mail: carbon@uzsci.net)

Ш. А. ЙУЛДОШОВ, младший научный сотрудник, Институт
химии и физики полимеров АН РУз (Узбекистан, 100128,
г. Ташкент, ул. А. Кадыри, 76; e-mail: sherzodbek_y@mail.ru)

М. Х. УСМАНОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент, начальник НИЦ
Высшей технической школы пожарной безопасности МВД РУз
(Узбекистан, 100102, г. Ташкент, Сергелийский р-н, ул. Дустлик, 5;
e-mail: m_usmanov@mail.ru)

С. М. ДЖУРАЕВ, начальник Пожарно-технической лаборатории МВД РУз
(Узбекистан, 100017, г. Ташкент, Юнус-Абадский р-н, просп. Ш. Рашидова, 17)

УДК 674.815-41

НАПОЛНЕННЫЕ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫЕ ПЛИТЫ С ПОНИЖЕННОЙ ГОРЮЧЕСТЬЮ

На основании экспериментальных исследований показано, что добавление в состав древесностружечных плит мелкодисперсной микрокристаллической целлюлозы и антипиренов на основе фосфорной кислоты улучшает их физико-механические показатели и пожаробезопасные свойства.

Ключевые слова: древесностружечная плита; микрокристаллическая целлюлоза; прочность; водостойкость; антипирены; трудногорючие материалы.

Разработка нового поколения трудногорючих полимерных материалов из местного сырья является одним из важных научных направлений современной химии, физики и технологии. Создание трудногорючих материалов способствует повышению безопасности жизни и имущества населения при пожарах. Среди местных полимерных источников сырья наибольшее внимание заслуживает природное целлюлозосодержащее сырье и ее производные.

В настоящее время в строительной промышленности широко применяются конструкционные отделочные материалы на основе целлюлозосодержащего сырья, в частности древесностружечные (ДСП) и древесноволокнистые (ДВП) плиты.

Технология производства древесностружечных плит основана на смешении измельченной древесины или опилок с мочевиноформальдегидной смолой и отвердителем — хлористым аммонием и гидрофобизирующими добавками с последующим формированием ковра и прессованием [1].

В производстве ДСП следует использовать связующие с низким содержанием свободного формальдегида, обладающие пониженной токсичностью. Однако ДСП известного состава из-за низкой связующей способности мочевиноформальдегидной смолы обладают низкими физико-механическими показателями и подвержены горению [2]. При определении их степени горючести по ГОСТ 12.1.044–89 остаток плит после испытаний составил 2,5 %.

К ДСП специального назначения относятся плиты, обладающие некоторыми дополнительными, особыми свойствами. Благодаря этим свойствам они применяются в определенных условиях, обеспечивая выполнение специфических требований. Например, огнезащищенные ДСП обладают неспособностью к самостоятельному горению [3].

Для огнезащиты древесных плит используют неорганические антипирены различного состава и соотношения. В состав известных неорганических антипиренов входят фосфор-, азот-, сурьмо-, бор-, цинксодержащие и другие соединения. Среди этих антипиренов особенно эффективен гидрофосфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, который входит в ряд огнезащитных составов, а также используется в качестве самостоятельного огнезащитного средства.

Целью исследований является повышение прочности ДСП и их водостойкости с приданием им свойств трудногорючих материалов.

В качестве объекта исследований были выбраны широко применяемые в различных отраслях промышленности, строительства и народного хозяйства ДСП, которые производятся в промышленных масштабах на основе древесных опилок определенной дисперсности, известных полимерных связующих и гидрофобизирующих агентов.

Выпускаемые местной промышленностью ДСП подвержены горению, имеют относительно высокую степень водопоглощения и низкие показатели проч-

ности, что объясняется наличием микро- и макропор в структуре, которые формируются в процессе их производства. Количество и объем пор можно сократить за счет увеличения дисперсности древесных опилок, однако при этом повышается хрупкость и снижается прочность конечного продукта в заложенных в технологии условиях формирования ДСП.

С целью повышения плотности (а следовательно, и прочности) ДСП, уменьшения количества и объема пор нами проведены исследования возможности включения в структуру ДСП различного количества микрокристаллической целлюлозы (МКЦ) дисперсностью 40–100 мкм (табл. 1). Формирование ДСП, содержащих МКЦ, проводили в условиях, соответствующих режимам действующих предприятий.

Как видно из табл. 1, добавление в состав известных композиций от 5 до 25 % МКЦ способствует увеличению плотности получаемой ДСП. При этом прочность при изгибе, модуль упругости, прочность на отрыв поперек пластины и разбухание ДСП проходят через максимум. Максимальные значения физико-механических показателей достигаются при содержании 15 % МКЦ в структуре ДСП.

Аналогичные исследования были проведены с использованием образцов МКЦ дисперсностью 10–40 мкм. При этом установлено повышение плотности полученных образцов ДСП до 790–880 кг/м³ при постоянстве их физико-механических показателей (см. табл. 1).

Ввиду сложности в условиях обычного производственного процесса равномерного распределения высокодисперсного МКЦ по всему объему ДСП нами были проведены исследования по смешиванию с древесностружечной массой предварительно приготовленной композиции МКЦ в растворе Na–КМЦ. При этом было достигнуто равномерное распределение МКЦ по всему объему ДСП. Кроме того, добавление композиции Na–КМЦ способствовало повышению адгезии частиц МКЦ к частицам древесностружечной массы. На основании экспериментальных исследований было найдено оптимальное соотношение (% масс.) между содержанием древесностружеч-

ной массы, МКЦ и Na–КМЦ — 80:15:5. При термопрессовании указанной композиции с добавлением известных связующих, отвердителей и гидрофобизирующих агентов в режимах и соотношениях, используемых в промышленности, были получены образцы ДСП с плотностью 950–980 кг/м³ и пределом прочности 13,8–14,5 МПа при толщине образцов 19 мм с гладкой поверхностью.

Добавление водного раствора Na–КМЦ способствовало повышению адгезии частиц МКЦ к древесине в порах ДСП, что позволило повысить прочность конечного продукта. Под воздействием высоких температур на стадии прессования раствор Na–КМЦ в структуре ДСП проникал в микропоры с последующим термосшиванием. Факт сшивания МКЦ доказан снижением ее растворимости в воде. Нам не удалось из полученных опытных образцов ДСП посредством вымывания выделить водорастворимую композицию Na–КМЦ.

Далее нами были проведены исследования по подбору антипиренов с целью придания разрабатываемым образцам ДСП огнезащитных свойств. Основными критериями при подборе антипиренов были доступность, невысокая стоимость, безопасность и эффективность компонентов.

В качестве компонентов для антипиренов были выбраны ортофосфорная кислота и аммиак. Общее содержание этих компонентов не превышало 15 % от древесной массы. Поставленная цель достигалась за счет соблюдения строгой последовательности, режимов и условий добавления компонентов при получении пресс-композиции. После ее сушки проводилось формирование образцов ДСП в лабораторных условиях, соответствующих режимам действующих предприятий.

На основании результатов экспериментальных исследований были получены огнезащищенные лабораторные образцы ДСП со следующими физико-механическими показателями: толщина 20 мм, плотность 945 кг/м³, предел прочности при изгибе 14,9 МПа, прочность на отрыв поперек пластины 0,42 МПа, разбухание по толщине за 24 часа 13,4 %.

Таблица 1. Физико-механические показатели образцов ДСП, содержащих различное количество МКЦ дисперсностью 40 мкм

Образец ДСП	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при изгибе, МПа	Модуль упругости при изгибе, МПа	Прочность на отрыв поперек пластины, МПа	Разбухание по толщине за 24 ч, %
Промышленный (контроль)	570	11,2	2,0	0,24	17,0
Лабораторный с МКЦ, %:					
5	575	12,3	2,1	0,29	17,8
10	590	14,2	2,8	0,35	18,1
15	620	14,6	3,2	0,40	17,6
20	760	13,8	2,4	0,32	16,0
25	790	11,8	2,0	0,21	14,3

Таблица 2. Параметры и свойства горючести образцов ДСП, испытанных в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.044–89

Образец ДСП	Размер образца, мм	Масса образца, г		Потеря массы m		Температура отходящих газов, °С, по истечении с начала испытаний, мин					Примечание
		до испытания	после испытания	г	%	1	2	3	4	5	
Промышленный образец	150×60×16	112	9,3	102,7	91,7	182	262	345	512	652	Горит
Лабораторный образец (15 % МКЦ)	150×60×16	124	29,0	95,0	76,6	184	256	333	507	648	Горит
Лабораторный образец (15 % МКЦ + 5 % Na–КМЦ)	150×60×19	142	37,5	104,5	73,6	178	239	315	510	643	Горит
Лабораторный образец (15 % МКЦ + 5 % Na–КМЦ + 15 % антипирен)	150×60×20	159	151,0	8,0	5,0	180	182	188	187	188	Тлеет

Далее промышленные и лабораторные образцы ДСП передавались в химико-технологическую лабораторию Научно-исследовательского центра ВТШПБ МВДРУз для определения их огнезащитных свойств:

- промышленный ДСП;
- лабораторный образец ДСП, содержащий 15 % МКЦ от массы древесных опилок (дисперсность 40 мкм);
- лабораторный образец ДСП, содержащий 15 % МКЦ и 5 % Na–КМЦ от массы древесных опилок;
- лабораторный образец, содержащий 15 % МКЦ, 5 % Na–КМЦ и 15 % фосфорной кислоты и аммиака от массы древесных опилок.

Остальные компоненты композиции древесной массы были взяты в соответствии с рецептурой действующих предприятий.

Испытания полученных образцов ДСП проводились на установке “Керамическая труба”. Внутри ко-

роба керамической трубы устанавливался нормативный режим горения с температурой на конце пламени 750 °С, на выходе керамической трубы температура отходящих газов составляла (200±5) °С в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.044–89.

Образцы поочередно закрепляли на держателе и опускали внутрь керамической трубы. С интервалом 1 мин после начала испытаний измеряли температуру отходящих газов, которой характеризуется степень горения образца.

Параметры и свойства горючести образцов ДСП, испытанных в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.044–89, представлены в табл. 2.

Таким образом, результаты лабораторных исследований позволяют сделать заключение, что образцы ДСП четвертой группы как по критерию потери массы, так и по температуре отходящих газов согласно ГОСТ 12.1.044–89 отнесены к классу трудногорючих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шварцман Г. М. Производство древесностружечных плит. — М. : Лесная промышленность, 1977. — 222 с.
2. Технология целлюлозно-бумажного производства. — М. : Политехника, 2006. — 499 с.
3. Леонович А. А., Шелюмов А. М. Снижение пожарной опасности древесных материалов, изделий и строительных конструкций. — СПб. : ГПУ, 2002. — 59 с.

Материал поступил в редакцию 23 января 2013 г.

English

FILLED-DENSITY WOOD CHIPBOARD WITH A LOWER FLAMMABILITY

SARYMSAKOV A. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director of Institute of Polymer Chemistry and Physics, Uzbekistan Academy of Sciences (A. Kadyri St., 7b, Tashkent, 100128, Uzbekistan; e-mail address: carbon@uzsci.net)

YULDOSHOV Sh. A., Low Researcher of Institute of Polymer Chemistry and Physics, Uzbekistan Academy of Sciences (A. Kadyri St., 7b, Tashkent, 100128, Uzbekistan; e-mail address: sherzodbek_y@mail.ru)

USMANOV M. Kh., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Head of Research Center of Fire Safety Higher Technical School, Interior Department of Uzbekistan (Dustlik St., 5, Tashkent, 100102, Uzbekistan; e-mail address: m_usmanov@mail.ru)

DJURAEV S. M., Head of Fire and Technical Laboratory, Interior Department of Uzbekistan (Sh. Rashidova Avenue, 17, Tashkent, 100017, Uzbekistan)

ABSTRACT

The aim of our research was to increase the strength and water resistance of particleboard with improving their flammability properties.

Commercially particleboards are usually exposed combustion, high water absorption and a relatively low strength. We have experimentally established that the addition 5–25 % microcrystalline cellulose with 10–40 micron and 5 % Na–CMC into the known composition of particleboard increases the density of products. Flexural strength, elasticity modulus, tensile strength across the sheet and swelling of particleboard passes through a maximum. To the maximum values of physical-mechanical indexes of the particleboards achieved with microcrystalline cellulose — 15 % and Na–CMC — 5 %. The results of analysis showed, increasing density of the particleboard samples to 790–880 kg/m³, their physical-mechanical values achieves 0.35–0.40 MPa.

In order to increase fireproof properties of the particleboard samples were studied on the selection of antipyrens.

As an antipyren was selected phosphoric acid and ammonia. The total content of selected antipyrens not exceed 15 %. Thus, the purpose is performed by optimizing sequence and mode of processes, conditions for adding components of antipyren on the preparation of press-compositions.

By the parameters and combustibility properties of the obtained samples of particleboard are assigned to the group of “slow-burning” materials to accordance with State standard 12.1.044–89.

Keywords: particleboard; microcrystalline cellulose; strength; waterproofness; antipyrens; slow-burning materials.

REFERENCES

1. Schwartzman G. M. *Proizvodstvo drevesnostruzhechnykh плит* [Production of particle boards]. Moscow, Lesnaya promyshlennost Publ. [Forest Industry Publ.], 1977. 222 p.
2. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva* [The technology of pulp and paper production]. Moscow, Politehnika Publ., 2006. 499 p.
3. Leonovich A. A., Sheloumov A. M. *Snizheniye pozharной opasnosti drevesnykh materialov, izdeliy i stroitelnykh konstruksiy* [Reducing fire hazard of wood materials, products and building construction]. St.-Petersburg, St.-Petersburg State Polytechnical University Publ., 2002. 59 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

В. П. РУДЗИНСКИЙ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, НИИ прикладной математики и механики при Национальном исследовательском Томском государственном университете (Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30; e-mail: rvp@arto.ru)

А. Н. ГАРАЩЕНКО, д-р техн. наук, заместитель генерального директора, ЗАО "Теплоогнезащита" (Россия, Московская обл., 141300, г. Сергиев Посад, просп. Красной Армии, 80; e-mail: a.n.gar@mail.ru)

Н. А. ГАРАЩЕНКО, канд. техн. наук, доцент, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: n.a.gar@mail.ru)

УДК 614.841.332:620.197.6

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ДВУХМЕРНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ СО ВСПУЧИВАЮЩИМСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Обоснована актуальность разработки программ теплотехнических расчетов двухмерных нестационарных полей в конструкциях из полимерных композиционных материалов различной конфигурации со вспучивающимися огнезащитными покрытиями. Показана необходимость их использования для определения проектных толщин огнезащиты и для проведения статических расчетов по оценке пределов огнестойкости строительных конструкций из композитов. Разработана программа и представлены результаты серии расчетов двухмерных температурных полей для перспективного варианта композитной конструкции, состоящей из тонкослойной цилиндрической оболочки со вспучивающимся покрытием и основного силового элемента крестообразной формы. Отмечена важность полученных результатов для конструирования подобных конструкций из полимерных композитов с требуемым уровнем их пожаробезопасности.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы (композиты); стеклопластик; пул-трузия; вспучивающиеся огнезащитные покрытия; пожарная опасность; пожаробезопасность; предел огнестойкости; теплотехнические и статические расчеты; двухмерные температурные поля.

Введение

Пределы огнестойкости строительных конструкций с огнезащитным покрытием определяются экспериментальным путем в огневых печах или взаимосвязанными теплотехническими и статическими расчетами для предельных состояний. В настоящее время проводится значительное количество огневых испытаний конструкций из стали и железобетона с различными видами огнезащиты. Однако это не уменьшает привлекательности и значимости расчетного определения толщин их огнезащиты и пределов огнестойкости. В особенности актуально применение расчетных методов при создании перспективных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) с требуемыми показателями пожаробезопасности. Это связано, в частности, с тем, что огневые испытания таких конструкций до настоящего времени практически не проводились. В определенной степени это обусловлено неоправданно низким объемом использования таких материалов в строительстве и других сферах. В то же время отсутствие объективных данных по рациональным

средствам огнезащиты и пределам огнестойкости композитных конструкций является одним из серьезных препятствий для их применения.

Состояние вопроса

Определение требуемых (проектных) толщин огнезащитных покрытий производится путем сопоставления требуемого (нормативного) и фактического значений предела огнестойкости рассматриваемой конструкции. Для проведения теплотехнических расчетов разработаны методики и программные комплексы серии "Огнезащита" для построения температурных полей в конструкциях с различными видами огнезащиты. Они в настоящее время широко используются в ходе работ по обеспечению работоспособности конструкций из стали и железобетона различного назначения при пожаре, в частности при подготовке проектов огнезащиты.

Данные методики основаны на численных конечно-разностных решениях достаточно сложных исходных систем уравнений, позволяющих учесть в одномерной постановке основные физико-хими-

ческие процессы и особенности, присущие основным видам огнезащиты. Двухмерные температурные поля могли рассчитываться только в отдельных случаях, касающихся в основном использования огнезащиты из термостойких неразлагающихся минераловатных или базальтоволоконистых материалов (плит или матов). Для таких вариантов авторами разработан программный комплекс “Огнезащита, версия 2Т”. Кроме того, удалось создать программу для расчетов двухмерных полей для случая использования огнезащиты из водосодержащих материалов (огнезащитные штукатурки, вермикулитовые или перлитосиликатные плиты). Эта программа представляет собой компиляцию программных комплексов “Огнезащита, версия 2Т” и “Огнезащита, версия ВН.1”. Общей особенностью этих программ является неизменность геометрических размеров расчетной области в ходе численного решения.

Для вспучивающихся огнезащитных покрытий, как свидетельствует анализ литературных источников, до настоящего времени не удавалось разработать программы теплотехнических расчетов в двухмерной постановке. Это связано со сложностью процессов, происходящих в таких материалах при нагреве, и трудностями численной реализации адекватной математической модели, учитывающей, в частности, существенное изменение геометрии расчетной области. Авторами была разработана методика расчетов температурных полей в одномерной постановке (программа “Огнезащита, версия 2У”), которая широко используется в практике проектных расчетов огнезащиты [2].

Для несущих конструкций из стали использование такой методики теплотехнических расчетов в одномерной постановке можно признать вполне приемлемым, поскольку при определенных условиях была обоснована возможность использования понятий “критическая температура” и “приведенная толщина” металла. В таких случаях толщина выбранного средства огнезащиты может определяться только теплотехническим расчетом, при условии, что температура защищаемого элемента не превышает критического значения в конце огневого воздействия по стандартному температурному режиму в течение времени, равного нормативному значению предела огнестойкости элемента. Температурное поле в системе *огнезащита – конструкция* рассчитывается по одномерной расчетной схеме “многослойная пластина” или “многослойный цилиндр” при условии идеальной теплоизоляции последних. Подобный подход использовался даже при рассмотрении стальных конструкций достаточно сложной конфигурации, так как предполагалось, что прогрев происходит достаточно равномерно по сечению

конструкции ввиду относительно высокого коэффициента теплопроводности стали.

В случае применения конструкций из полимерных композитов, имеющих сложную конфигурацию, подобный подход неприменим, в частности из-за относительно низкой теплопроводности ПКМ и, соответственно, неравномерного прогрева изготавливаемых из них элементов. Это предопределяет необходимость создания соответствующих методик теплотехнических расчетов.

Из всех существующих видов огнезащиты для конструкций из полимерных композитов, исходя из их особенностей, наиболее привлекательным и перспективным представляется использование тонкослойных вспучивающихся покрытий. В случае применения достаточно толстой огнезащиты из негорючих плитных или рулонных материалов, а также обмазок (штукатурок) теряются такие преимущества конструкций из ПКМ, как эстетичный внешний вид, небольшие габаритные размеры, технологичность монтажа, низкая масса, долговечность и пр. Кроме того, проведенные исследования [3] свидетельствуют о том, что вспучивающиеся покрытия позволяют существенно снизить уровень показателей пожарной опасности полимерных композитов, что является важным условием для их практического использования.

Результаты [3], полученные при испытаниях образцов стеклопластика на основе ткани Т-10-14 и эпоксидного компаунда “Этал-370/2”, показали, что применение покрытия СГК-2 толщиной 0,45–0,50 мм обеспечивает перевод ПКМ из группы горючих материалов средней воспламеняемости В2 в группу горючих материалов низкой воспламеняемости В1 (по ГОСТ 30402–96). Получены материалы, приемлемые по токсичности продуктов разложения и дымообразующей способности: материал с умеренной дымообразующей способностью группы Д2 (по ГОСТ 12.1.044–89, п. 4.18) и умеренноопасный материал группы Т2 (по ГОСТ 12.1.044–89, п. 4.20). Обеспечено значительное снижение индекса распространения пламени, оцениваемого по ГОСТ 12.1.044–89, п. 4.19. При использовании покрытия СГК-2 толщиной 0,65–0,70 мм материал из группы материалов, быстро распространяющих пламя, переходит в группу материалов, практически не распространяющих пламя по поверхности. Перечисленные результаты свидетельствуют о потенциальной возможности существенного снижения класса пожарной опасности конструкций из полимерных композитов, определяемого по ГОСТ 30403–96.

В то же время не менее важной проблемой, чем существенное снижение уровня показателя пожарной опасности композитных материалов и класса пожарной опасности конструкций из них, является повышение пределов огнестойкости конструкций

из ПКМ, определяемых по ГОСТ 30247.0–94, а также расчетным путем.

Цель и задачи исследования

В настоящее время строительные и другие конструкции из ПКМ могут изготавливаться различных форм и размеров. Например, пултрузионная технология позволяет производить вытяжку профилей в виде двутавров, швеллеров, коробов круглой и прямоугольной формы (с внутренними элементами и без них) и т. д. Для выбора рациональных материалов и определения проектных толщин огнезащитных покрытий, обеспечивающих допустимый уровень прогрева таких конструкций, необходимы расчеты двумерных температурных полей. Без них невозможно проведение статических расчетов пределов огнестойкости конструкций из ПКМ с огнезащитным покрытием. При этом необходимо учитывать, что существенное падение прочности ПКМ происходит уже при относительно низком уровне температур, например для типичных стеклопластиков — при 80–150 °С.

При использовании вспучивающихся покрытий, температура начала вспучивания которых, как правило, относительно невелика, поверхностные слои конструкций из ПКМ прогреваются до уровня, при котором их несущая способность практически исчерпывается. Предварительные теплотехнические и статические расчеты показали [4], что только за счет использования таких покрытий обеспечить требуемый уровень пределов огнестойкости конструкций из ПКМ весьма проблематично или невозможно. Сделан вывод [4], что в дополнение к огнезащитным покрытиям определенной толщины необходимо и соответствующее рациональное конструктивное исполнение самих элементов из ПКМ. Их конструирование должно осуществляться на основе результатов математического моделирования прогрева и несущей способности с использованием имеющихся или специально разработанных компьютерных программ. К числу программ, требующих разработки, относятся программы расчетов двумерных нестационарных полей в композитных конструкциях различной конфигурации со вспучивающимся огнезащитным покрытием. Причем необходимость численной реализации сложных математических моделей и отсутствие типовых расчетных алгоритмов решения таких задач требуют разработки нескольких программ в соответствии с принятыми геометрическими расчетными схемами.

Одна из таких схем, которая представляется весьма перспективной для создания композитных конструкций с заданным уровнем пожаробезопасности, представлена на рис. 1. Это стойка, колонна или связь цилиндрической формы из стеклопласти-

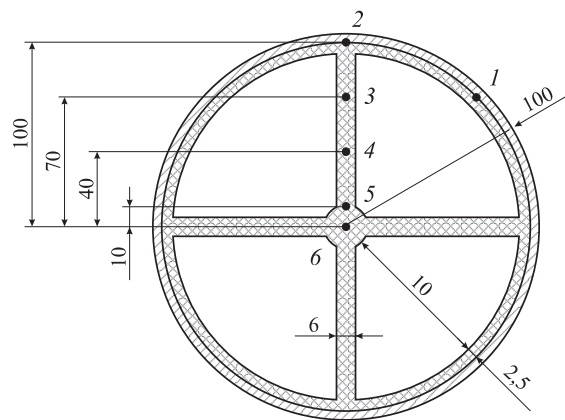


Рис. 1. Расчетная схема конструкции из ПКМ с огнезащитным покрытием толщиной 2 мм: 1–6 — контрольные точки, в которых фиксируются расчетные значения температуры при высокотемпературном воздействии

ка на эпоксидном связующем, наружная оболочка которой имеет относительно небольшую толщину. Целесообразность оформления наружной оболочки с минимальной толщиной подтвердилась в ходе предварительных расчетов. Это соответствует задачам рационального конструирования, поскольку при использовании тонкослойных вспучивающихся покрытий эта оболочка является, по существу, “жертвенным” слоем ввиду ее относительно быстрого нагрева при высокотемпературном воздействии. Изготовление подобной конструкции с наружным диаметром 200 мм и толщиной оболочки 2,5 мм технологически осуществимо методом пултрузии. На наружную цилиндрическую поверхность наносится вспучивающееся покрытие СГК-2 толщиной 1–3 мм.

Особенностью конструкции, представленной на рис. 1, является наличие достаточно массивных внутренних крестообразных элементов (перемычек) в виде пластин и центрального цилиндра (стержня), которые в основном и определяют несущую способность конструкции, причем не только при обычной эксплуатации, но и в условиях аварийной ситуации, например при пожаре. Целью и задачей исследования, результаты которого представлены в данной статье, является разработка компьютерной программы и проведение расчетов (моделирования) двумерных температурных полей в конструкции, схема которой представлена на рис. 1.

Результаты

Для описания сложных процессов тепломассопереноса в конструкции и слое огнезащиты использовалась исходная математическая модель (система уравнений), включающая уравнение нестационарной теплопроводности, краевые условия и замыкающие соотношения, которые записаны в цилиндрической системе координат r ; φ (где r — радиус, φ — угол). Основные зависимости, описывающие про-

цессы, реализуемые в огнезащитном и конструкционном материалах, приняты подобными представленным в работе [5] для одномерной постановки. Компьютерная программа разработана на алгоритмическом языке Fortran, хорошо зарекомендовавшем себя при решении сложных инженерных задач.

Сходимость и устойчивость расчетного алгоритма обеспечивались с помощью специальных приемов численной реализации, часть которых аналогична приемам, примененным при разработке программы “Огнезащита, версия 2У” [2]. Для расчетной области использовалась разностная сетка, состоящая из сотен ячеек как по радиусу r , так и по углу φ . Учет реальной геометрии элементов в виде пластин в новой программе производился путем перестройки ячеек разностной сетки и уточнения значений температуры в ее узлах. Изменение размеров расчетной области при вспучивании учитывалось соответствующим увеличением количества элементов разностной сетки. Для двухмерной задачи было проведено уточнение алгоритма обеспечения сходимости, изменены все параметры сходимости, а также реализовано требуемое измельчение шагов разностной сетки.

По разработанной компьютерной программе проведена серия расчетов прогрева рассматриваемой конструкции при воспроизведении огневого воздействия по “стандартному” температурному режиму (ГОСТ 30247.0–94) в течение 90 мин. Толщина вспучивающегося покрытия задавалась 1; 2 и 3 мм; свойства материала принимались такими же, как и у покрытия СГК-2 [5]. Теплофизические характеристики ПКМ определялись для пултрузионного стеклопластика на эпоксидном связующем [5]: плотность — 2030 кг/м^3 , коэффициент теплопроводности — $0,44\text{--}0,6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ в диапазоне температур от 0 до 150°C , удельная теплоемкость — $900\text{--}1070 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ в диапазоне температур от 0 до 150°C .

Результаты расчетов температурных полей представлены на рис. 2 в виде зависимостей от времени температуры в контрольных точках, обозначенных на рис. 1. Эти данные наглядно демонстрируют неравномерность прогрева элементов конструкции при огневом воздействии, что свидетельствует о важности разработки рассматриваемой методики теплотехнических расчетов двухмерных температурных полей.

Эти поля являются исходными данными для статических расчетов, в ходе которых определяется предел огнестойкости с учетом эксплуатационных нагрузок и механических характеристик (модуля упругости и предела прочности материала). Как видно из рис. 2, уровень прогрева центральной части конструкции при толщине вспучивающегося покры-

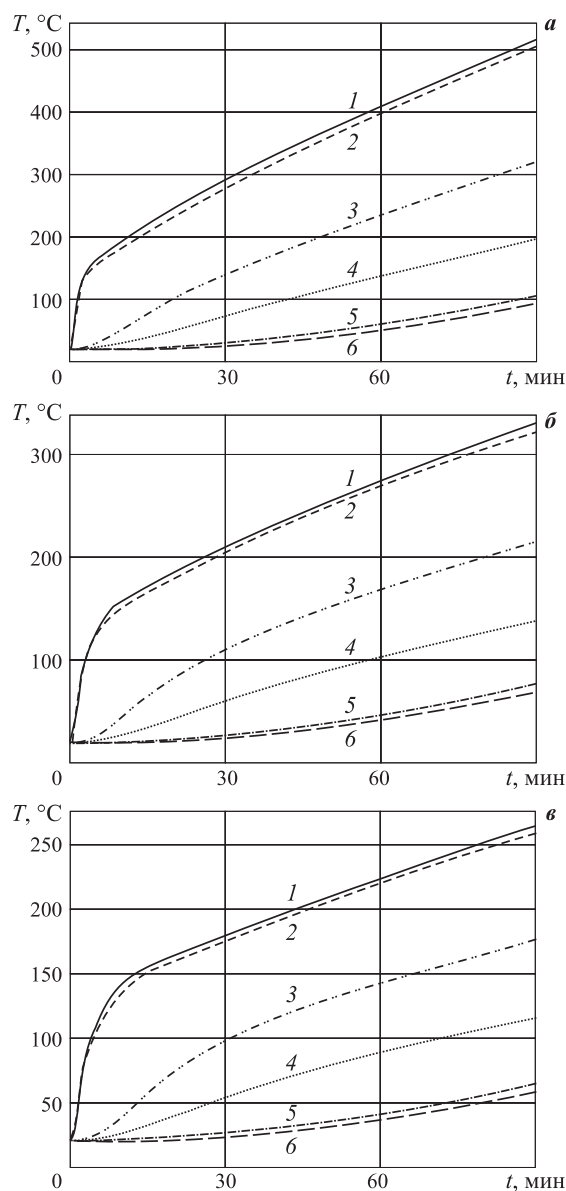


Рис. 2. Зависимость от времени температуры конструкции из ПКМ с огнезащитным покрытием толщиной 1 мм (а), 2 мм (б) и 3 мм (в) в контрольных точках 1–6 (см. рис. 1)

тия 2 мм и более относительно невелик, что должно соответствующим образом сказываться на обеспечении ее несущей способности при пожаре. Сочетание теплотехнических и статических расчетов позволяет проводить рациональный выбор формы и структуры конструкций из ПКМ с огнезащитой с использованием подхода, изложенного в [4]. Математическое моделирование дает возможность оценивать изменение уровня нагрева и несущей способности конструкции при варьировании ее геометрических размеров, а также при изменении материалов и толщины огнезащиты. Методика позволяет проводить такое моделирование при различных температурных режимах пожара.

Интересные результаты получены для случая заполнения полостей в конструкции, изображенной

на рис. 1, низкоплотным и термостойким базальто-волокнутистым материалом. Таким образом, расчетами установлено значительное снижение уровня прогрева внутренних элементов конструкции, что свидетельствует о перспективности повышения пределов огнестойкости полимерных композитов. Подобный материал представляет собой, по существу, эффективную огнезащиту, позволяющую повысить пожаробезопасность конструкций из ПКМ.

Заключение

Обоснована актуальность разработки и использования компьютерных методик теплотехнических

расчетов двумерных температурных полей в конструкциях с огнезащитой, как важного звена в создании конструкций из полимерных композитов с требуемыми показателями их пожаробезопасности. Представлены результаты серии расчетов по первой из разработанных компьютерных программ для одного из вариантов композитной конструкции. Полученные результаты продемонстрировали важность проведения подобных расчетов и целесообразность их использования при определении оптимальных параметров огнезащиты и при конструировании рациональной формы и структуры перспективных конструкций из ПКМ для строительной и других отраслей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П.* Программные комплексы для расчетов температурных полей в строительных конструкциях с огнезащитой с учетом термического разложения, вспучивания – усадки и испарения – конденсации // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2001. — Т. 10, № 4. — С. 9–11.
2. *Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Рудзинский В. П.* Программный комплекс для расчетов нестационарных температурных полей в конструкциях с разлагающейся и вспучивающейся или испытывающей усадку огнезащитой (ОГНЕЗАЩИТА. Версия ВУ.2). — М.: Фонд НИИЦ ПС “Курс” МГТУ, 2001. — 32 с.
3. *Гаращенко А. Н., Суханов А. В., Гаращенко Н. А., Смирнов Н. В., Константинова Н. И., Меркулов А. А.* Снижение пожарной опасности полимерных композиционных материалов при использовании вспучивающихся огнезащитных покрытий // *Пожарная безопасность*. — 2012. — № 4. — С. 61–67.
4. *Суханов А. В., Каледин В. О., Гаращенко А. Н., Мараховский С. С.* Принципы конструирования пожаробезопасных конструкций из полимерных композиционных материалов // *Полимерные материалы пониженной горючести: труды IV Междунар. конф.* — Вологда: Изд-во ВоГТУ, 2011. — С. 157–161.
5. *Назаренко В. А., Гаращенко А. Н.* Результаты исследований и перспективы использования вспучивающегося покрытия СГК-2 для защиты от пожаров конструкций и оборудования различного назначения // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2005. — Т. 14, № 6. — С. 21–25.
6. *Гаращенко А. Н., Суханов А. В., Гаращенко Н. А. и др.* Пожаробезопасность конструкций из полимерных композиционных материалов // *Конструкции из композиционных материалов*. — 2010. — № 2. — С. 45–59.

Материал поступил в редакцию 3 июня 2013 г.

English

THERMOTECNICAL CALCULATIONS OF TWO-DIMENSIONAL TEMPERATURE FIELDS IN POLYMER COMPOSITE STRUCTURES WITH INTUMESCENT FIRE PROTECTION

RUDZINSKIY V. P., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics attached to National Research Tomsk State University (Lenina Avenue, 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail address: rvp@arto.ru)

GARASHCHENKO A. N., Doctor of Technical Sciences, Deputy Director of CJSC “Teploognezashchita” (Krasnoy Armii Avenue, 80, Moscow Region, Sergiev Posad, 141300, Russian Federation; e-mail address: a.n.gar@mail.ru)

GARASHCHENKO N. A., Candidate of Technical Sciences, Assistant Proffessor of Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: n.a.gar@mail.ru)

ABSTRACT

The actuality of developing software for thermotechnical calculations of two-dimensional unsteady fields in various-configuration polymer composite structures with intumescent fire-protective coats is substantiated. The necessity of their use to determine designed thicknesses of the fire protection and to perform static calculations for the estimation of fire-resistance limits of composite building constructions is shown. The software has been developed. The results of a series of calculations for two-dimensional temperature fields for an advanced variant of composite structure consisting of a thin-layer cylindrical shell with the intumescent coat and a basic load-bearing cruciform element are presented. The importance of obtained results for the design of similar polymer composite structures with a required level of their fire safety is noted.

Keywords: polymer composite materials (composites); fiberglass plastic; pultrusion; intumescent fire-protective coatings; fire hazard; fire safety; fire-resistance limit; heat-engineering and static calculations; two-dimensional temperature fields.

REFERENCES

1. Strakhov V. L., Garashchenko A. N., Rudzinskiy V. P. Programmnyye komplekсы dlya raschetov temperaturnykh pol'y v stroitel'nykh konstruktsiyakh s ognezashchitoy s uchetom termicheskogo razlozheniya, vspuchivaniya – usadki i ispareniya – kondensatsii [Software for simulation of temperature fields in fire resistant building constructions with taking into account the processes of thermal decomposition, intumescence – shrinkage and avaporation – condensation]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2001, vol. 10, no. 4, pp. 9–11.
2. Strakhov V. L., Garashchenko A. N., Rudzinskiy V. P. Programmnyy kompleks dlya raschetov nestatsionarnykh temperaturnykh pol'y v konstruktsiyakh s razlagayushcheysoy i vspuchivayushcheysoy ili ispytyvayushchey usadku ognezashchitoy (OGNEZASHCHITA. Versiya VU.2) [Software system for calculation of transient temperature fields in structures with decaying and blistering fire-retardant coat or shrinking coat. (OGNEZASHCHITA (FIRE-RESISTANCE). Version VU.2)]. Moscow, Foundation of REC PS “Kurs” Bauman MSTU Publ., 2001. 32 p.
3. Garashchenko A. N., Sukhanov A. V., Garashchenko N. A., Smirnov N. V., Konstantinova N. I., Merkulov A. A. Snizheniye pozharnoy opasnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov pri ispol'zovanii vspuchivayushchikhsoy ognezashchitnykh pokrytiy [Decrease of fire hazard of polymeric composite materials when using of intumescent fireproof coverings]. *Pozharnaya bezopasnost — Fire Safety*, 2012, no. 4, pp. 61–67.
4. Sukhanov A. V., Kaledin V. O., Garashchenko A. N., Marakhovskiy S. S. Printsipy konstruirovaniya pozharobezopasnykh konstruktsey iz polimernykh kompozitsionnykh materialov [The construction rules of flame-proof polymeric composite building structures]. *Trudy IV Mezhdunarodnoy konferentsii “Polimernyye materialy ponizhennoy goryuchesti”* [Proc. IV International Conference “Low Combustibility Polymeric Materials”]. Vologda, Vologda State Technical University Publ., 2011, pp. 157–161.
5. Nazarenko V. A., Garashchenko A. N. Rezultaty issledovaniy i perspektivy ispol'zovaniya vspuchivayushchegosya pokrytiya SGK-2 dlya zashchity ot pozharov konstruktsey i oborudovaniya razlichnogo naznacheniya [Results of investigations and perspectives of SGK-2 expanding covering application for constructions and different kind of equipment fire protection]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2005, vol. 14, no. 6, pp. 21–25.
6. Garashchenko A. N., Sukhanov A. V., Garashchenko N. A. et al. Pozharobezopasnost konstruktsey iz polimernykh kompozitsionnykh materialov [Fire safety of polymeric composite building structures]. *Konstruktsey iz kompozitsionnykh materialov — Composite Building Structures*, 2010, no. 2, pp. 45–59.

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

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

Д. М. ГРИГОРЬЕВ, технический директор ООО “Противопожарные технологии” (Россия, 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Новолитовская, 16, А)

УДК 614.849

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ СТЕН ЗДАНИЙ С ТЕМПЕРАТУРНЫМИ ШВАМИ, ЗАПОЛНЕННЫМИ ОГНЕСТОЙКОЙ ПЕНОЙ

Разработана методика прогнозирования предела огнестойкости температурных швов стен, заполненных огнестойкой пеной, разрушающейся при тепловом воздействии пожара. Методика основана на следующих предположениях: 1) для разрушения одинаковых количеств пены требуется подведение равных количеств теплоты; 2) тепло к поверхности пены, находящейся в щели между стенами, подводится в основном за счет излучения.

Ключевые слова: пожарная безопасность; огнестойкость; моделирование; температурный шов; огнестойкая пена.

Пределы огнестойкости строительных конструкций должны устанавливаться в условиях стандартных испытаний по методикам, регламентированным нормативными документами по пожарной безопасности [1]. В то же время допускается определять данный параметр для строительных конструкций, аналогичных по форме, материалам и конструктивному исполнению строительным конструкциям, прошедшим испытания, расчетно-аналитическими методами, установленными нормативными документами по пожарной безопасности [1, 2].

В практике проектирования в целом ряде случаев такие расчетно-аналитические методы отсутствуют, что создает практически неразрешимые проблемы, связанные с невозможностью испытаний каждого вида конструкций даже для одного проектируемого объекта.

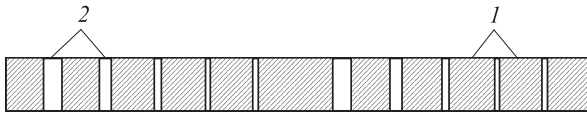
Данная работа посвящена разработке одного из способов расчета частного случая — оценки предела огнестойкости конструкций стен с температурными швами, заполненными огнестойкой пеной, разрушающейся при тепловом воздействии пожара. Температурный шов — зазор между отдельными частями конструкций сооружения, допускающий их взаимное перемещение, вызываемое температурным расширением материалов. Температурные швы предохраняют здание от разрывов кладки, трещин, перекосов и сдвигов. Заполнение температурных швов пеной производится с целью герметизации конструкции.

Компанией ООО “Противопожарные технологии” были проведены испытания стены толщиной 150 мм из газобетонных блоков автоклавного твердения с заполнением подготовленных вертикальных линейных швов монтажной противопожарной огнезащитной полиуретановой пеной Promafoam®-С на глубину не менее 150 мм [3]. В ходе разработки проекта строительной конструкции возникла необходимость определить пределы огнестойкости температурных швов в газобетонных стенах толщиной 120 и 100 мм.

В табл. 1 по данным [3] представлены результаты испытаний двух образцов стен. Поперечное сечение конструкции приведено на рисунке. Предел огнестойкости по теплоизолирующей способности и потеря целостности образцов наступали одновременно.

Таблица 1. Время наступления предельного состояния по потере целостности (Е) при глубине заделки швов 150 мм

Ширина шва, мм	Время наступления предельного состояния, мин, для образца	
	первого	второго
10	162	157
20	157	152
30	129	124
40	97	110
50	92	96



Поперечное сечение конструкции: 1 — стена из пенобетонных блоков; 2 — пена Promafoam®-C

В информационных материалах норвежского [4], нидерландского [5] и французского [6] отделений компании “Promat” представлены экспериментальные данные по пределам огнестойкости по признаку потери целостности щелей в стенах, заполненных Promafoam®-C (табл. 2–4).

Существует способ оценки свойств защитного материала, для которого достаточно одного классификационного испытания [7]. Он основан на том, что нагрев конструкции возрастает с увеличением массивности и ослабляется с увеличением толщины защитного слоя.

Тождественность температурных полей двух геометрически подобных конструктивных элементов

Таблица 2. Предел огнестойкости по теплоизолирующей способности и целостности по данным [4]

Наибольшая ширина × наименьшая глубина зазора, мм				Предел огнестойкости, мин
—	30×200	20×150	—	120
40×200	30×150	—	10×100	90
40×150	—	20×100	10×70	60
—	30×100	—	—	45
40×100	—	20×70	10×50	30

Таблица 3. Глубина заделки шва для обеспечения предела огнестойкости 30; 60 и 120 мин по данным [5]

Ширина зазора, мм	Глубина заполнения пеной шва в каменной стене, мм, для достижения предела огнестойкости		
	30 мин	60 мин	120 мин
<10	50	80	120
10–20	70	100	160
20–30	80	130	—
30–40	90	160	—

Таблица 4. Минимальная глубина уплотнения для обеспечения предела огнестойкости 30; 60 и 120 мин по данным [6]

Ширина уплотнения, мм	Минимальная глубина уплотнения, мм, для достижения предела огнестойкости		
	30 мин	60 мин	120 мин
<10	70	70	100
10–20	70	100	150
20–30	70	120	200
30–40	70	150	200

при одинаковых начальных температурных условиях может быть достигнута с помощью критерия Фурье (Fo). При подобных температурных полях критерии Фурье равны между собой:

$$Fo = idem. \quad (1)$$

Критерий Фурье представляет собой следующее отношение:

$$Fo = a\tau/r^2, \quad (2)$$

где a — коэффициент температуропроводности материала;

τ — длительность воздействия температуры;

r — геометрический параметр, характеризующий размер образца.

При тождественных температурных полях

$$\tau_2 = \tau_1 \frac{a_1}{a_2} \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2, \quad (3)$$

где τ_1, τ_2 — длительность воздействия температуры соответственно на 1-й и 2-й образцы;

a_1, a_2 — коэффициенты температуропроводности материалов соответственно 1-го и 2-го образцов;

r_1, r_2 — геометрические параметры, характеризующие размеры соответственно 1-го и 2-го образцов.

Таким образом, может быть определено время, в течение которого должен нагреваться натурный образец для достижения тождественности температурных полей данного образца и модели. Зависимости, выраженные уравнением (3), не учитывают постепенного нарастания температуры по стандартной кривой *время – температура*, а предполагают нагрев от источника с постоянной температурой. Из анализа [6] экспериментальных работ видно, что показатель степени находится в диапазоне 1,5–1,7. Таким образом, предел огнестойкости натурального объекта рассчитывается по результатам испытаний модельного объекта из того же материала по формуле

$$P_{ф.н} = P_{ф.м} \left(\frac{r_n}{r_m} \right)^n, \quad (4)$$

где $P_{ф.м}, P_{ф.н}$ — фактические пределы огнестойкости соответственно модельного и натурального объектов;

r_m, r_n — геометрические параметры, характеризующие размеры соответственно модельного и натурального объектов;

n — показатель степени; $n = 1,5 \div 1,7$.

Поскольку в процессе испытания стен с температурным швом, заполненным пеной, происходит разрушение слоя пены, представленная формула может оказаться неточной.

По аналогии с подходом, основанным на приведении реальных температурных режимов к стан-

дартному, в данной работе предполагалось, что скорость разрушения пены пропорциональна количеству подведенного тепла. Для разрушения равных объемов пены, находящихся на разной глубине от поверхности стены, потребуется подведение равно (эквивалентного) количества тепла.

Подведение тепла к поверхности пены, заполняющей температурный шов, происходит в основном за счет излучения. При разрушении поверхностных слоев пены угловой коэффициент облучения поверхности пены уменьшается. Угловой коэффициент φ для двух неограниченно длинных узких параллельных полос одинаковой ширины b на расстоянии a [7] определяется по формуле

$$\varphi = \frac{a}{b} \left[\sqrt{\left(\frac{b}{a}\right)^2 + 1} - 1 \right]. \quad (5)$$

Значения угловых коэффициентов облучения поверхности пены в зависимости от расстояния a от поверхности пены до поверхности стены и ширины щели b приведены в табл. 5. Тепловой лучистый поток $q_{\text{изл}}$, падающий на поверхность пены в момент времени τ , определяется как

$$q_{\text{изл}} = \varphi \sigma \varepsilon T_{st}^4(\tau), \quad (6)$$

где σ — постоянная Стефана–Больцмана;

ε — коэффициент черноты продуктов горения;
 $\varepsilon = 0,85$;

$T_{st}(\tau)$ — температура стандартного температурного режима пожара, К;

τ — время, с.

Количество теплоты $Q_{\text{изл}}$, падающей на поверхность пены за время t , определяется выражением

$$Q_{\text{изл}} = \sigma \varepsilon \int_0^t \varphi(x)\tau \cdot T_{st}^4(\tau) d\tau, \quad (7)$$

где x — координата поверхности пены в момент времени τ ; $0 < x < l$;

l — толщина стены, мм.

Для упрощения вычислений принимаем $x = 0,5l$.

Тогда

$$Q_{\text{изл}} = \sigma \varepsilon \varphi(0,5l) \int_0^t T_{st}^4(\tau) d\tau. \quad (8)$$

С помощью интерполяции степенным полиномом с коэффициентом корреляции 0,99 устанавливаем, что

$$\sigma \varepsilon T_{st}^4(\tau) = 980,77 \tau^{0,56}$$

или

$$\sigma \varepsilon \int_0^t T_{st}^4(\tau) d\tau = 1751,4 t^{1,56}. \quad (9)$$

Таблица 5. Значения угловых коэффициентов облучения φ поверхности пены в зависимости от расстояния a от поверхности пены до поверхности стены и ширины щели b

Расстояние a , мм	Значение φ при ширине шва b , мм				
	10	20	30	40	50
5	0,414	0,618	0,721	0,781	0,820
10	0,236	0,414	0,535	0,618	0,677
15	0,162	0,303	0,414	0,500	0,566
20	0,123	0,236	0,333	0,414	0,481
25	0,099	0,193	0,277	0,351	0,414
30	0,083	0,162	0,236	0,303	0,362
35	0,071	0,140	0,205	0,266	0,320
40	0,062	0,123	0,181	0,236	0,287
45	0,055	0,110	0,162	0,212	0,259
50	0,050	0,099	0,147	0,193	0,236
55	0,045	0,090	0,134	0,176	0,217
60	0,042	0,083	0,123	0,162	0,200
65	0,038	0,076	0,114	0,150	0,186
70	0,036	0,071	0,106	0,140	0,173
75	0,033	0,066	0,099	0,131	0,162
80	0,031	0,062	0,093	0,123	0,153
85	0,029	0,059	0,088	0,116	0,144
90	0,028	0,055	0,083	0,110	0,136
95	0,026	0,052	0,078	0,104	0,129
100	0,025	0,050	0,075	0,099	0,123
105	0,024	0,048	0,071	0,094	0,117
110	0,023	0,045	0,068	0,090	0,112
115	0,022	0,043	0,065	0,086	0,107
120	0,021	0,042	0,062	0,083	0,103
125	0,020	0,040	0,060	0,079	0,099
130	0,019	0,038	0,058	0,076	0,095
135	0,019	0,037	0,055	0,074	0,092
140	0,018	0,036	0,053	0,071	0,089
145	0,017	0,034	0,052	0,069	0,086
150	0,017	0,033	0,050	0,066	0,083

Сначала рассчитывается

$$Q_{\text{изл.э}} = \varphi(0,5l_э) \sigma \varepsilon \int_0^{t_э} T_{st}^4(\tau) d\tau$$

для каждого значения ширины щели экспериментального образца стены.

Из предположения, что для разрушения одинаковых количеств пены необходимо подведение одинаковых количеств тепла, определялось количество тепла, которое падает на поверхность пены прогнозируемого образца стены:

$$Q_{\text{изл.пр}} = Q_{\text{изл.э}} (l_{\text{пр}}/l_э). \quad (10)$$

Далее определяется время $t_{пр}$, при котором удовлетворяется равенство

$$Q_{изл. пр} = \sigma \varepsilon \varphi (0,5l_{пр}) \cdot 1751,4 t_{пр}^{1,56}; \quad (11)$$

$$t_{пр} = \left(\frac{Q_{изл. пр}}{1751,4 \sigma \varepsilon \varphi (0,5l_{пр})} \right)^{0,641}. \quad (12)$$

Подставляя выражение (11) в формулу (12), получаем:

$$t_{пр} = \left(\frac{\varphi (0,5l_{пр}) l_{пр} t_{пр}^{1,56}}{\varphi (0,5l_{пр}) l_{пр}} \right)^{0,641}. \quad (13)$$

Результаты расчетов в сравнении с экспериментальными данными для стен толщиной 120 и 100 мм представлены в табл. 6 и 7. В качестве экспериментальных брались данные из протокола по испытаниям [3]. Как видно из табл. 6, прогнозируемые результаты по модели эквивалентного количества тепла, подведенного к объекту, хорошо согласуются и с экспериментальными данными [4–6], и с результатами, полученными по методике [7] для $n = 1,5$ при толщине стены 120 мм.

При толщине стены 100 мм наблюдается существенный разброс данных [4–6] по пределу огнестойкости (см. табл. 7). Предположительно, при ширине швов 10 и 20 мм фактические пределы огнестойкости составляют около 90 мин с небольшими отклонениями в большую или меньшую сторону. Согласование прогнозов по разным моделям сохраняется.

Близость результатов по прогнозным формулам, полученным независимо друг от друга и исхо-

Таблица 6. Пределы огнестойкости щелей в стене толщиной 120 мм, заполненных Promafoam®-С на всю ее толщину

Ширина шва, мм	Экспериментальные данные	Прогноз по [6]		Прогноз по модели эквивалентного количества тепла
		$n = 1,7$	$n = 1,5$	
10	120 [4], 120 [5]	107–111	112–116	118
20	120 [3], 120 [5]	104–107	109–112	116
30	90 [3], 60 [5]	85–88	89–92	95
40	60 [3]	66–75	69–79	78
50	–	63–66	66–69	71

Таблица 7. Пределы огнестойкости щелей в стене толщиной 100 мм, заполненных Promafoam®-С на всю ее толщину

Ширина шва, мм	Экспериментальные данные	Прогноз по [5]		Прогноз по модели эквивалентного количества тепла
		$n = 1,7$	$n = 1,5$	
10	90 [3], 60 [4, 5]	79–81	85–88	94
20	90 [3], 60 [4, 5]	76–79	83–85	92
30	45 [3]	62–65	67–70	76
40	–	49–55	57–60	62
50	–	46–48	50–52	57

дя из разных предпосылок, дает дополнительное подтверждение достоверности прогноза.

Таким образом, данные, полученные по модели эквивалентного количества тепла, дают удовлетворительное совпадение с результатами испытаний температурных швов стен, заполненных огнестойкой пеной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
2. ГОСТ 30247.1–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции. — Введ. 01.01.96 г. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 1995. — 11 с.
3. Пена монтажная противопожарная огнезащитная полиуретановая Promafoam®-С для заполнения зазоров, стыков, швов и т. п. по технической документации изготовителя : протокол № 18 ск/и–2012 ИЦ “Огнестойкость”, ЗАО “ЦСИ Огнестойкость” // Конструктивная противопожарная защита зданий и сооружений А2.1 : справочник Promat, 2012. URL : <http://www.know-house.ru/infotek/infpdf/3promat01.pdf> (дата обращения: 14.05.2013 г.).
4. SINTEF produktdokumentasjon. SINTEF 030-0267. URL : nbl.sintef.no (дата обращения: 14.05.2013 г.).
5. Promat. PROMAFOAM®-C Technische gegevens. URL : www.promat.nl (дата обращения: 14.05.2013 г.).
6. Rapport d’essai CSTB 92. 34937 PV 94-CVB-RO639-RO640/PV CSTB n° RS00-217 et n° RS01-063. URL : <http://www.promat.fr/pdf/catalogues/calfeutrement.pdf> (дата обращения: 14.05.2013 г.).
7. Ройтман М. Я. Пожарная профилактика в строительном деле. — М. : Изд-во МКХ РСФСР, 1954. — 304 с.
8. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров : справочник / Пер. с англ. — М. : Атомиздат, 1979. — 216 с.

Материал поступил в редакцию 17 мая 2013 г.

FORECASTING LIMIT OF FIRE RESISTANCE OF WALLS OF BUILDINGS WITH EXPANSION JOINTS FILLED WITH FIRE-RESISTANT FOAM

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

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

GRIGORIEV D. M., Technical Director of "Fire Technology Ltd" (Novolitovskaya St., 16, St.-Petersburg, 194100, Russian Federation)

ABSTRACT

The technique of predicting the fire resistance of the expansion joints of walls filled with fire-resistant foam collapsing during thermal exposure of a fire have been made. Expansion joint is a gap between the individual parts of the structure facilities, allowing their relative movement caused by thermal expansion of materials. Expansion joints protect the building from the masonry breaks, cracks, distortions and shifts. Filling of expansion joints by foam made to seal the structure. Existing methods of evaluating the properties of protective material on the basis of a classification test based on the fact that the heating structure increases with the massiveness and attenuated with increasing thickness of the protective layer while maintaining the structural integrity during heat exposure. The developed method is based on the assumptions:

- 1) for the destruction of equal amounts of foam requires summing equal amounts of heat;
- 2) heat to the surface of the foam, located in a gap between the walls, mainly due to applied radiation.

The data obtained from the developed procedure gives satisfactory agreement with the published literature on the test results.

Keywords: fire safety; fire resistance; modeling; expansion joint; flame retardant foam.

REFERENCES

1. Technical regulations on fire safety requirements: Federal Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
2. *Interstate Standard 30247.1–94. Elements of building constructions. Fire-resistance test methods. Load bearing and separating constructions*. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 1995. 11 p. (in Russian).
3. Pena montazhnaya protivopozharnaya ognenezashchitnaya poliuretanovaya Promafoam®-C dlya zapolneniya zazorov, stykov, shvov i t. p. po tekhnicheskoy dokumentatsii izgotovatelya: Protokol № 18 sk/i–2012 IC "Ognestoykost", ZAO "CSI Ognestoykost" [Foam assembly fire resistant polyurethane Promafoam®-C to fill the gaps, joints, seams etc., according to the technical documentation of the manufacturer. Protocol No. 18 sk/e–2012 of Testing Center "Fire Resistance", CJSC "Center for Contemporary Art Fire Resistance"]. *Konstruktivnaya protivopozharnaya zashchita zdaniy i sooruzheniy A2.1: spravochnik Promat* [Structural fire protection of buildings and structures A2.1. Reference Promat]. Available at: http://www.know-house.ru/infotek/inf/pdf/3_promat_01.pdf (Accessed 14 May 2013).
4. SINTEF produktdokumentasjon. SINTEF 030-0267. Available at: nbl.sintef.no (Accessed 14 May 2013).
5. Promat. PROMAFOAM®-C Technische gegevens. Available at: www.promat.nl (Accessed 14 May 2013).
6. Rapport d'essai CSTB 92. 34937 PV 94-CVB-RO639-RO640/PV CSTB n° RS00-217 et n° RS01-063. Available at: <http://www.promat.fr/pdf/catalogues/calfeutrement.pdf> (Accessed 14 May 2013).
7. Roytman M. Ya. *Pozharnaya profilaktika v stroitel'nom dele* [Fire prevention in the construction business]. Moscow, Izdatelstvo Ministerstva kommunalnogo khozyaystva RSFSR, 1954. 304 p.
8. Wong H. Y. *Handbook of Essential Formulae and Data on Heat Transfer for Engineers*. London and New York, LONGMAN Group, 1977. 212 p. (Russ. ed.: Wong H. Osnovnyye formuly i dannyye po teploobmenu dlya inzhenerov. Moscow, Atomizdat, 1979. 216 p.).

В. В. НОВИКОВ, канд. воен. наук, доцент, доцент кафедры теории и практики управления, ФГБОУ ВПО Московский городской психолого-педагогический университет (Россия, 127051, г. Москва, ул. Сретенка, 29; e-mail: novicov.slava@yandex.ru)

С. В. ЦОПОВ, заместитель начальника Территориального пожарно-спасательного отряда № 2, ГКУ "Пожарно-спасательный центр" (Россия, 123308, г. Москва, просп. Маршала Жукова, 79; e-mail: zopowsemen@mail.ru)

УДК 614.842:005.69.032.21

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛОГО СЕКТОРА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Показаны основные изменения нормативной правовой базы и особенности технического регулирования пожарной безопасности жилых зданий. Выявлена основная проблема обеспечения пожарной безопасности жилых зданий и показаны пути ее решения.

Ключевые слова: пожарная безопасность; жилой сектор; техническое регулирование; нормативная правовая база.

По статистической информации МЧС России в 2012 г. произошло 162 975 пожаров, при которых погибло 11635 и получили травмы 11962 чел. На жилой сектор из них пришлось 112 976 пожаров, или 69,3 %. Прямой материальный ущерб от пожаров составил 4 398 194 руб.

Назовем основные причины возникновения пожаров:

- 1) неосторожное обращение с огнем — 36,34 %, в том числе шалость детей с огнем — 1,72 %;
- 2) нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования и бытовых электроприборов — 25,06 %;
- 3) неисправность и нарушение правил эксплуатации печного отопления — 16,59 %;
- 4) поджоги — 10,18 %;
- 5) неустановленные и прочие причины пожаров — 11,94 %.

Статистика МЧС России показывает, что больше всего от пожаров страдают:

- жилой сектор — жилые дома, общежития, дачи, садовые домики, надворные постройки и т. п.;
- транспортные средства — железнодорожный подвижной состав, морские, речные и воздушные суда и т. д.;
- склады, базы и торговые помещения;
- производственные здания и складские помещения производственных предприятий;
- административно-общественные здания.

Таким образом, в результате анализа данных МЧС России можно сделать вывод, что ежегодно в среднем около 70 % пожаров происходит в жилом секторе (в том числе до 50 % — в жилых зданиях), доля погибших и травмированных при пожарах в нем превышает 80 %. Причиной гибели подавляющего

числа людей при пожарах в жилых зданиях является отравление токсичными продуктами горения и воздействие высоких температур.

В связи с этим возникает проблема, как уменьшить количество пожаров в жилом секторе и число погибших и травмированных при пожаре людей?

Цель решения данной проблемы — качественное повышение уровня защищенности людей в жилом секторе. Но ее решение тесно связано с другими задачами, такими как своевременное обнаружение пожара в жилых зданиях; организация безопасной эвакуации людей; применение первичных средств пожаротушения для борьбы с пожаром на начальной стадии его развития.

Какое решение данной проблемы предусматривается в нормативной базе? Для ответа на вопрос рассмотрим, какие изменения были внесены в последнее время в нормативную базу для повышения пожарной безопасности в жилом секторе.

В целях защиты жизни и здоровья людей, сохранения имущества физических и юридических лиц от пожаров разработаны нормы, правила и общие требования в области пожарной безопасности. В соответствии с данными требованиями каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности, которая включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности (п. 3 ст. 5 Федерального закона № 123-ФЗ [1]).

Приведем определения основных понятий [1].

Система предотвращения пожара — комплекс организационных мероприятий и технических средств, исключающих возможность возникновения пожара на объекте защиты.

Система противопожарной защиты — комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на защиту людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение последствий воздействия опасных факторов пожара на объект защиты (продукцию).

Пожарная сигнализация — совокупность технических средств, предназначенных для обнаружения пожара, обработки, передачи в заданном виде извещения о пожаре, специальной информации и (или) выдачи команд на включение автоматических установок пожаротушения и включение исполнительных установок систем противодымной защиты, технологического и инженерного оборудования, а также других устройств противопожарной защиты.

Объект защиты — продукция, в том числе имущество граждан или юридических лиц, государственное или муниципальное имущество (включая объекты, расположенные на территориях поселений, а также здания, сооружения, транспортные средства, технологические установки, оборудование, агрегаты, изделия и иное имущество), к которой установлены или должны быть установлены требования пожарной безопасности для предотвращения пожара и защиты людей при пожаре.

Безопасная эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре считается обеспеченной, если интервал времени от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени эвакуации людей при пожаре.

Для своевременного обнаружения возгорания необходимо иметь систему и (или) комплекс соответствующих технических средств.

Федеральным законом № 117 [2] внесены изменения в ст. 54 [1], касающиеся систем обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ), которые должны:

- обеспечивать автоматическое обнаружение пожара за время, необходимое для включения систем оповещения о пожаре в целях организации безопасной (с учетом допустимого пожарного риска) эвакуации людей в условиях конкретного объекта;
- устанавливаться на объектах, воздействие опасных факторов пожара на которые может привести к травматизму и (или) гибели людей. Перечень объектов, подлежащих оснащению указанными системами, устанавливается нормативными документами по пожарной безопасности.

Ст. 91 [1] в редакции [2] определяет порядок оснащения помещений, зданий и сооружений, оборудованных системами оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, автоматическими установками пожарной сигнализации и (или) пожаротушения:

1. Помещения, здания и сооружения, в которых предусмотрена система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, оборудуются автоматическими установками пожарной сигнализации и (или) пожаротушения в соответствии с уровнем пожарной опасности помещений, зданий и сооружений на основе анализа пожарного риска. Перечень объектов, подлежащих оснащению указанными установками, устанавливается нормативными документами по пожарной безопасности.

2. Автоматические установки пожарной сигнализации, пожаротушения должны быть оборудованы источниками бесперебойного электропитания.

Для достижения поставленных целей необходимо точно выявить очаг возгорания и незамедлительно оповестить о том, в каком месте возникла угроза пожара. От того, насколько быстро будет обнаружено возгорание, зависит спасение человеческих жизней и предотвращение материального ущерба. Решить задачу своевременного обнаружения пожара можно с помощью систем пожарной сигнализации.

Система пожарной сигнализации — совокупность установок пожарной сигнализации, смонтированных на одном объекте и контролируемых с общего пожарного поста.

Федеральным законом № 117 [2] внесены изменения в ст. 83 [1] относительно требований к системам пожарной сигнализации (СПС):

- автоматические установки пожарной сигнализации должны монтироваться в зданиях и сооружениях в соответствии с проектной документацией, разработанной и утвержденной в установленном порядке;
- автоматические установки пожарной сигнализации в зависимости от разработанного при их проектировании алгоритма должны обеспечивать автоматическое обнаружение пожара, подачу управляющих сигналов на технические средства оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, приборы управления установками пожаротушения, технические средства управления системой противодымной защиты, инженерным и технологическим оборудованием;
- автоматические установки пожарной сигнализации должны обеспечивать автоматическое информирование дежурного персонала о возникновении неисправности линий связи между отдельными техническими средствами, входящими в состав установок;
- пожарные извещатели и иные средства обнаружения пожара должны располагаться в защищаемом помещении таким образом, чтобы обеспечивалось своевременное обнаружение пожара в любой точке этого помещения;

- ручные пожарные извещатели должны устанавливаться на путях эвакуации в местах, доступных для их включения при возникновении пожара;
- требования к проектированию автоматических установок пожарной сигнализации устанавливаются настоящим Федеральным законом и (или) нормативными документами по пожарной безопасности.

Третьим ключевым изменением в Федеральный закон № 123 [1] стало ужесточение требований к живучести объектов систем противопожарной защиты, в частности требований к автоматическим установкам пожарной сигнализации (ст. 103): “Линии связи между техническими средствами автоматических установок пожарной сигнализации должны сохранять работоспособность в условиях пожара в течение времени, необходимого для выполнения их функций и эвакуации людей в безопасную зону” [2].

Время огнестойкости систем должно быть больше общего времени обнаружения пожара и эвакуации людей с учетом времени выполнения системами всех своих функций:

$$\text{Время работоспособности систем} > \left[\begin{array}{cc} \text{Время обнаружения} & \text{Время эвакуации} \\ \text{пожара} & \text{людей} \end{array} \right]$$

При этом согласно ГОСТ Р 53325–2009 время обнаружения пожара должно составлять от 3 до 14 мин (время срабатывания извещателя по результатам огневых испытаний), а время эвакуации — рассчитываться в соответствии с методикой расчета пожарного риска.

Кроме того, требования к системам пожарной сигнализации в жилых зданиях и перечень объектов изложены в СП 5.13130.2009 [3]. В нем предусмотрена и обязательная установка пожарной сигнализации в жилых зданиях высотой более 28 м (выше 10 этажей), и оборудование квартир автономными дымовыми пожарными извещателями, и установка в прихожих квартир тепловых пожарных извещателей для открывания клапанов и включения вентиляторов подпора воздуха и дымоудаления. Аналогично в СП 3.13130.2009 [4] изложены требования к построению систем оповещения для жилых зданий.

Однако на практике все оказывается не так просто. Проблема заключается в том, что в большинстве действующих зданий (скажем, меньшей этажности) такие системы попросту отсутствуют, а там, где они есть, в ряде случаев находятся в неработоспособном состоянии. Здесь вина как обслуживающих организаций, так и самих жителей (даже в новых квартирах, где они установлены): их часто снимают при первом же ремонте, чтобы “не портили” интерьер.

Основной элемент системы пожарной сигнализации — пожарный извещатель.

Пожарный извещатель — техническое средство, предназначенное для формирования сигнала о пожаре.

От правильного выбора типа пожарного извещателя для конкретного объекта в большой мере зависит эффективность и слаженность работы всей системы пожарной безопасности в целом.

Сегодня на рынке пожарной сигнализации представлено множество видов извещателей: дымовые, газовые, пламени, тепловые, аспирационные. Каждый из них имеет подвиды (линейные, точечные и т. д.). Умножив их на сотни производителей, получим огромное количество предложений. Как в такой ситуации не растеряться и сделать правильный выбор?

Для определения подходящего типа извещателя проектировщики обращаются к СП 5.13130.2009 [3], в котором приведен перечень видов помещений и типы пожарных извещателей, рекомендуемые к применению на конкретных объектах защиты. Рассмотрим типы пожарных извещателей и область их применения.

Дымовые извещатели. Их действие основано на регистрации параметров воздуха на объекте защиты способом оптического слежения. Согласно п. 13.1.1 [3] выбор точечного дымового пожарного извещателя рекомендуется производить в соответствии с его чувствительностью к дыму различных типов. Однако реалии таковы: несмотря на то что эти извещатели имеют сертификаты на соответствие требованиям [1], большинство из них не проходит огневые испытания. А ведь именно такие испытания могут дать представление о способности приборов максимально быстро выполнять свою функцию в условиях реального пожара. Применение эффективных дымовых пожарных извещателей сдерживается курением в жилых помещениях и фактором “пригоревших котлет” на кухне.

Тепловые извещатели. Действие извещателей основано на анализе температуры окружающей среды. Роль чувствительного элемента выполняет термистор-резистор, у которого сопротивление зависит от температуры. Согласно п. 13.1.4 [3] тепловые пожарные извещатели следует применять, если в зоне контроля на начальной стадии развития пожара предполагается тепловыделение, а также если применение извещателей других типов невозможно.

Как было показано выше, наиболее распространенные причины пожаров — неосторожное обращение с огнем, нарушение правил эксплуатации электрооборудования и печного отопления, поджоги. Очень часто возгорание сопровождается открытым пламенем. Для обнаружения возгорания на городских объектах, как правило, применяются дымовые и тепло-

вые извещатели. Но, как показывают неутешительные данные статистики, для полной защиты объекта применения только дымовых и тепловых извещателей недостаточно.

Таким образом, следуя СП 5.13130.2009 [3] (приложение М), мы соблюдаем нормы пожарной безопасности, но жизни людей при этом остаются под угрозой. Однако необходимо отметить, что данное приложение определяет лишь общие подходы к выбору типов пожарных извещателей и носит рекомендательный характер, а конкретное решение принимается проектной организацией.

Пожарные извещатели пламени. Действие извещателей данного типа основано на мгновенной реакции на появление открытого пламени. Особенно они эффективны для площадей, по которым может быстро распространяться пожар. Согласно п. 13.1.2 [3] пожарные извещатели пламени следует применять, если в зоне контроля на начальной стадии развития пожара предполагается появление открытого пламени.

В отличие от дымовых извещателей, инерционность которых составляет от 3 до 5 мин (а тепловых и того больше), извещатель пламени срабатывает менее чем за 30 с. С учетом изменений в нормативной базе в области пожарной безопасности ([3], приложение М) перечень помещений, для защиты которых рекомендуется применять извещатели пламени, расширяется. Область применения извещателей пламени давно уже не ограничивается производственными объектами, поэтому устройства приобретают эстетичный вид, компактные размеры, с легкостью вписываются в интерьер жилых и административных зданий, широко используются на железнодорожном транспорте (в вагонах пригородных электропоездов, железнодорожных вагонах).

Таким образом, свод правил [3] не запрещает контролировать одну зону различными типами пожарных извещателей. Оптимальным решением в большинстве случаев считается сочетание дымовых извещателей и извещателей пламени. Наличие различных типов пожарных извещателей даст возможность своевременно обнаружить очаг возгорания и запустить системы оповещения и пожаротушения.

Ключевые изменения в Федеральный закон № 123 [1], внесенные Федеральным законом № 117 [2], касаются защиты жилого сектора и заключаются в следующем:

1) введение обязательного требования по оснащению системами пожарного мониторинга социальных объектов;

2) введение нового требования по дополнительному оснащению зданий медицинских организаций и учреждений социальной защиты персональными устройствами оповещения о пожаре.

В настоящее время вопрос об оснащении объектов системами пожарного мониторинга на слуху у всех специалистов, связанных с проектированием, монтажом и обслуживанием пожарной сигнализации. Причиной тому является требование [1], обязывающее оснащать системами мониторинга целый ряд объектов.

Для обеспечения безопасности людей при пожаре необходимо решить первоочередную задачу — своевременно обнаружить пожар, для чего необходим мониторинг состояния объектов защиты с передачей информации с объектов в подразделения пожарной охраны.

В соответствии с [2] с 13 июля 2014 г. п. 7 ст. 83 [1] будет изложен в следующей редакции:

“7. Системы пожарной сигнализации должны обеспечивать подачу светового и звукового сигналов о возникновении пожара на приемно-контрольное устройство в помещении дежурного персонала или на специальные выносные устройства оповещения, а в зданиях классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.2, Ф4.1, Ф4.2 — с дублированием этих сигналов на пульт подразделения пожарной охраны без участия работников объекта и (или) транслирующей этот сигнал организации”.

Под указанные объекты попадают следующие категории зданий:

- Ф1.1 — здания детских дошкольных образовательных учреждений, специализированных домов престарелых и инвалидов (неквартирные), больницы, спальные корпуса образовательных учреждений интернатного типа и детских учреждений;
- Ф1.2 — гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов;
- Ф4.1 — здания общеобразовательных учреждений, образовательных учреждений дополнительного образования детей, образовательных учреждений начального профессионального и среднего профессионального образования;
- Ф4.2 — здания образовательных учреждений высшего профессионального образования и дополнительного профессионального образования (повышения квалификации) специалистов.

СП 5.13130.2009 [3] с учетом изм. 1 требует обязательного применения подобных систем:

“На объектах класса функциональной опасности Ф1.1 и Ф4.1 извещения о пожаре должны передаваться в подразделения пожарной охраны по выделенному в установленном порядке радиоканалу или другим линиям связи в автоматическом режиме без участия персонала объектов и любых организаций, транслирующих эти сигналы.

При отсутствии на объекте персонала, ведущего круглосуточное дежурство, извещения о пожаре должны передаваться в подразделения пожарной охраны по выделенному в установленном порядке радиоканалу или другим линиям связи в автоматическом режиме”.

На других объектах аналогичное требование является рекомендуемым.

Перечисленные выше документы обязывают передавать сигналы в подразделения пожарной охраны или пожарную часть. Соответственно, в подразделениях пожарной охраны необходимо обеспечить прием этой информации с помощью пультового оборудования.

Федеральным законом [1] предусматривается дополнительное оснащение зданий медицинских организаций и учреждений социальной защиты персональными устройствами оповещения о пожаре.

В соответствии с [2] с 13 июля 2014 г. ст. 84 [1] будет дополнена частью 12 следующего содержания:

“Здания медицинских организаций, учреждений социальной защиты населения и учреждений социального обслуживания с пребыванием людей на постоянной основе или стационарном лечении с учетом индивидуальных способностей людей к восприятию сигналов оповещения *должны быть дополнительно оборудованы* (оснащены) системами (средствами) оповещения о пожаре, в том числе *с использованием персональных устройств со световым, звуковым и с вибрационным сигналами оповещения*. Такие системы (средства) оповещения должны обеспечивать информирование дежурного персонала о передаче сигнала оповещения и подтверждение его получения каждым оповещаемым”.

Примером персонального устройства оповещения о пожаре и вызова медицинского персонала является *Браслет-Р*, который входит в состав беспроводной системы охранно-пожарной сигнализации и оповещения “Стрелец”. Устройство представляет собой наручный браслет, имеющий функции вызова, звуковой и световой индикации, персонального подтверждения доставки сигнала пациенту, вызова медперсонала, управления доступом в помещения. Браслет-Р может работать без замены батарей один год.

При обнаружении пожара информация от пожарного извещателя поступает на приемно-контрольный прибор, который отправляет сигнал “Тревога” на устройство “Браслет-Р”.

Повсеместное внедрение таких устройств персонального оповещения, как Браслет-Р, позволит обеспечить качественно новый уровень безопасности людей в зданиях медицинских организаций и учреждениях социальной защиты.

Существует еще одна проблема — *обеспечения возможности подъезда к месту пожара специальной техники для спасения людей и ликвидации пожара*. С принятием [2] утратила силу ст. 67 [1], но содержащиеся в ней требования пока не включены в нормативные документы, в том числе требования к обеспечению подъезда или проезда пожарных автомобилей к зданиям жилого назначения. Согласно ст. 90 [1] (в ред. [2]) для зданий и сооружений должно быть обеспечено устройство пожарных проездов и подъездных путей к зданиям и сооружениям для пожарной техники, специальных или совмещенных с функциональными проездами и подъездами.

Москва пытается решить эту проблему. С этой целью не так давно в Москве были выделены и обозначены специальные площадки для пожарной техники. Ну и что? На них спокойно припаркованы личные автомобили.

Внимание! В этом случае нарушаются требования ст. 75 Правил противопожарного режима в Российской Федерации [5], которая запрещает использовать для стоянки автомобилей (частных автомобилей и автомобилей организаций) разворотные и специальные площадки, предназначенные для установки пожарно-спасательной техники.

Существуют также проблемы, связанные с наличием в жилых зданиях огнетушителей.

В СП 9.13130.2009 [6] дано определение огнетушителя, а также приводится информация о том, какие огнетушители в настоящее время выпускаются и какие требования предъявляются к их эксплуатации:

“Огнетушитель: переносное или передвижное устройство, предназначенное для тушения очага пожара оператором за счет выпуска огнетушащего вещества, с ручным способом доставки к очагу пожара, приведения в действие и управления струей огнетушащего вещества.

переносной огнетушитель: Огнетушитель с полной массой не более 20 кг, конструктивное исполнение которого обеспечивает возможность его переноски и применения одним человеком.

передвижной огнетушитель: Огнетушитель с полной массой не менее 20 кг, но не более 400 кг, смонтированный на колесах или на тележке.

водный огнетушитель: Огнетушитель с зарядом воды или воды с добавками, расширяющими область эксплуатации и применения огнетушителя (концентрация добавок поверхностно-активных веществ не более 1 % об.).

воздушно-пенный огнетушитель: Огнетушитель, заряд и конструкция которого обеспечивают получение и применение воздушно-механической пены низкой или средней кратности для тушения пожаров.

воздушно-эмульсионный огнетушитель: Разновидность воздушно-пенного огнетушителя, в заряд

которого входит большое количество поверхностно-активных веществ (концентрация от 1 до 100 % об.), антифриз, органические и неорганические добавки, расширяющие область применения огнетушителя и позволяющие получение водной эмульсии (кратность менее 4) для тушения пожаров.

порошковый огнетушитель: Огнетушитель, в качестве заряда которого используется огнетушащий порошок.

углекислотный огнетушитель: Закачной огнетушитель высокого давления с зарядом жидкой двуокиси углерода, находящийся под давлением ее насыщенных паров.

хладоновый огнетушитель: Огнетушитель с зарядом огнетушащего вещества на основе галогенпроизводных углеводородов”.

Ст. 34 Федерального закона № 69-ФЗ [7] обязывает граждан:

- иметь в помещениях и строениях, находящихся в их собственности (пользовании), *первичные средства тушения пожаров* и противопожарный инвентарь в соответствии с правилами пожарной безопасности и перечнями, утвержденными соответствующими органами местного самоуправления.

В соответствии с [2] *первичные средства пожаротушения* — это средства пожаротушения, используемые для борьбы с пожаром на начальной стадии его развития.

В ст. 60 [2] к первичным средствам пожаротушения в зданиях и сооружениях предъявляются следующие требования:

- здания и сооружения должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения лицами, уполномоченными владеть, пользоваться или распоряжаться зданиями и сооружениями;
- номенклатура, количество и места размещения первичных средств пожаротушения устанавливаются в зависимости от вида горючего материала, объемно-планировочных решений здания, сооружения, параметров окружающей среды и мест размещения обслуживающего персонала.

В 2012 г. взамен ППБ 01–03 были введены “Правила противопожарного режима в Российской Федерации” [5], которые устанавливают правила безопасности на производственных объектах, на объектах с массовым пребыванием людей (в больницах, детских садах, школах, летних лагерях), в жилых домах, на транспорте.

В значительной степени новые правила [5] коснулись и собственников индивидуальных жилых домов: они должны позаботиться об установке на своем участке емкости (бочки) с водой или иметь огнетушитель. Бочки для хранения воды должны иметь вместимость не менее 0,2 м³ и комплектоваться ведрами (п. 483 [5]).

При выборе типа огнетушителя необходимо руководствоваться гл. XIX и пп. 465–480 Правил [5]. Первичные средства пожаротушения должны иметь соответствующие сертификаты.

Пункт 71 Правил [5] требует при обнаружении пожара или признаков горения в здании, помещении (задымление, запах гари, повышение температуры воздуха и др.):

- немедленно сообщить об этом по телефону в пожарную охрану (при этом необходимо назвать адрес объекта, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию);
- принять посильные меры по эвакуации людей и тушению пожара.

В Правилах [5] регламентирован и порядок применения газовых баллонов при установке их в жилых домах. В частности, в помещении можно установить только один баллон вместимостью не более 5 л, подключенный к газовой плите заводского изготовления, а газовые баллоны для бытовых газовых приборов (в том числе кухонных плит, водогрейных котлов, газовых колонок) должны располагаться вне зданий в пристройках (шкафах или под кожухами, закрывающими верхнюю часть баллонов и редуктор) из негорючих материалов у глухого простенка стены на расстоянии не менее 5 м от входов в здание, цокольные и подвальные этажи.

Пристройки и шкафы для газовых баллонов должны запираются на замок и иметь жалюзи для проветривания, а также предупреждающие надписи “Огнеопасно. Газ”. У входа в индивидуальные жилые дома, а также в помещения зданий и сооружений, в которых применяются газовые баллоны, размещается предупреждающий знак пожарной безопасности с надписью “Огнеопасно. Баллоны с газом”.

Подводя итоги вышесказанного, сформулируем проблемные вопросы, с которыми придется столкнуться специалистам при выборе объектовых систем противопожарной защиты и повышения пожарной безопасности:

- 1) устойчивая работа системы в условиях пожара с учетом расчетного времени эвакуации людей;
- 2) высокие затраты и технические сложности с прокладкой огнестойких кабельных линий;
- 3) электромагнитная устойчивость систем противопожарной защиты;
- 4) уменьшение количества пожаров, числа погибших и травмированных людей в зданиях Ф1.3 (многоквартирные жилые дома) и Ф1.4 (одноквартирные жилые дома, в том числе блокированные);
- 5) обеспечение первичными средствами пожаротушения зданий и сооружений (особенно огнетушителями);
- 6) использование для стоянки личных автомобилей и автомобилей организаций специальных пло-

щадок, предназначенных для пожарно-спасательной техники.

Пути решения обозначенных проблем следующие:

1. На основе анализа практики реализации Правил противопожарного режима в Российской Федерации [5] организовать подготовку и внесение соответствующих изменений и дополнений в постановление Правительства РФ.

2. С целью выполнения требований Технического регламента [1] широко применять профессиональные беспроводные адресно-аналоговые системы пожарной сигнализации с двухсторонним протоколом обмена.

3. Вместо ст. 67, которая была отменена Федеральным законом [2], подготовить соответствующий распорядительный документ и утвердить его постановлением Правительства РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одоб. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Российская газета. — 2008. — № 163.
2. О внесении изменений в Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”: Федер. закон РФ от 10.07.2012 г. № 117-ФЗ; принят Гос. Думой 20.06.2012 г.; одоб. Сов. Федерации 27.06.2012 г.; введ. 12.07.2012 г. // Российская газета. — 13.07.2012 г. — Федер. вып. № 5832. URL : www.rg.ru/2012/07/13/reglament-dok.html (дата обращения: 05.05.2013 г.).
3. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 175; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 103 с.
4. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 173; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
5. Правила противопожарного режима в Российской Федерации : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 г. № 390 // Российская газета. — 2012. — № 93.
6. СП 9.13130.2009 г. Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации : приказ МЧС России от 25.03.2009 г. № 179; введ. 01.05.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
7. О пожарной безопасности : Федер. закон от 21.12.94 г. № 69-ФЗ; принят Гос. Думой 18.11.94 г.; введ. 26.12.94 г. // Собр. законодательства РФ. — 1994. — № 35, ст. 3649.

Материал поступил в редакцию 13 мая 2013 г.

English

PROBLEMS OF MAINTENANCE OF FIRE SAFETY OF RESIDENTIAL SECTOR AND WAYS OF THEIR SOLUTION

NOVIKOV V. V., Candidate of Military Sciences, Docent, Associate Professor of Theory and Practice of Management Department, Moscow City Psychological and Pedagogical University (Sretenka St., 29, Moscow, 127051, Russian Federation; e-mail address: novikov.slava@yandex.ru)

TSOPOV S. V., Deputy Head of Territorial Rescue and Fire Fighting Group No. 2, Rescue and Fire Fighting Center (Marshala Zhukova Avenue, 79, Moscow, 123308, Russian Federation; e-mail address: zopowsemen@mail.ru)

ABSTRACT

The main changes of the regulatory base and the particular technical regulation of fire safety of residential buildings are shown. The main problem of fire safety of residential buildings are identified and the ways to solve this problem are shown.

From the analysis of data of Emercom of Russia it can be concluded that each year, on the average, about 70 % of the fires occur in the residential sector (including up to 50 % in residential buildings), the share of those killed and injured in fires in the housing exceeds 80 %. In residential buildings, in the fires of people perished in the main from poisoning by toxic products of combustion and from the impact of high temperatures.

Problem: how to reduce the number of fires in the residential sector and the proportion of dead and injured people in the fire.

Goal: to raise the qualitative level of security of people in the residential sector. The early detection of fire in residential buildings, to organize the safe evacuation of people and use of primary fire extinguishing means used to fight the fire at the initial stage of its development.

Keywords: fire safety; residential; technical regulation; regulatory framework.

REFERENCES

1. Technical regulation on fire safety requirements: Federal Law of the Russian Federation on 22.07.2008 No. 123. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2008, no. 163 (in Russian).
2. About modification of the Federal Law “Technical regulation on fire safety requirements”. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 13.07.2012, no. 5832. Available at: www.rg.ru/2012/07/13/reglament-dok.html (Accessed 5 May 2013) (in Russian).
3. *Set of Rules 5.13130.2009. System of fire-prevention protection. Installation of fire alarm and automatic fire extinguishing. Norms and rules of designing*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009. 103 p. (in Russian).
4. *Set of Rules 3.13130.2009. Systems of fire protection. System of annunciation and management of human evacuation at fire. Requirements of fire safety*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
5. Rules of the fire prevention regime in the Russian Federation. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2012, no. 93 (in Russian).
6. *Set of Rules 9.13130.2009. Fire engineering. Fire extinguishers. Requirements to operation*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
7. On fire safety. Federal Law on 21.12.94 No. 69. *Sobraniye zakonodatelstva RF — Collection of Laws of the Russian Federation*, 1994, no. 35, art. 3649 (in Russian).



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



Международный отраслевой форум-выставка **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ XXI ВЕКА**

Москва, МВЦ «Крокус Экспо», II павильон, зал №10
24-27 сентября 2013 года

12-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ XXI ВЕКА»

- Пожарная безопасность отраслевых направлений экономики и жизнедеятельности
- Пожарная техника, оборудование, системы защиты и спасения
- Охранная и пожарная автоматика (комплексные системы безопасности)
- Услуги в области пожарной безопасности
- Противопожарная пропаганда

Конкурсы:

- «Лучшее техническое решение в области пожарной безопасности»
- «Лидер продаж продукции пожарно-технического назначения»
- «Лучшие материалы и наглядные пособия по противопожарной пропаганде и обучению мерам пожарной безопасности»

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА В НАПРАВЛЕНИИ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. ВОПРОСЫ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ. ИНВЕСТИЦИИ»

РЕКЛАМА

Дирекция выставки: +7 (495) 727-25-98, fireexpo@crocus-off.ru, <http://www.fireexpo.ru>

Организатор:



Генеральный
информационный партнёр:



Официальный информационный
партнёр:



Главный
Интернет-партнёр:



Главный информационный
партнёр:



Официальный
партнёр:



Региональный
медиа-партнёр:



Информационный партнёр
МВЦ «Крокус Экспо»:



ВЫСТАВКИ ТЕХНОЛОГИЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ



СибБезопасность

Международная выставка «Охрана и пожарная безопасность»

Антитеррор: комплексная безопасность

Конференция-выставка

25 – 27 сентября 2013 года

Россия, Новосибирск



ITE Сибирская Ярмарка
Телефон: (383) 363-00-63, 363-00-36
sips@sibfair.ru

Место проведения
«Новосибирск Экспоцентр»

Получите электронный билет на сайте
www.sips-siberia.ru

РЕКЛАМА

Стратегический
информационный партнер



Генеральный
информационный партнер



Генеральный
Интернет-партнер



При поддержке:



Правительство
Новосибирской области



Администрация города
Новосибирска



Сибирский
региональный центр
МЧС России



Главное управление
МЧС России по
Новосибирской области



Управление Федеральной
службы безопасности
по Новосибирской области



Главное Управление
МВД России по
Новосибирской области



Управление на транспорте
МВД России по Сибирскому
Федеральному округу



Сибирское территориальное
управление Федерального
агентства железнодорожного
транспорта



УГАН НОТБ СФО
Ространснадзор

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

УДК 621.311.23:614.841.41

УГРОЗА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЕ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ УКРАИНЫ — ПЕРЕВОДУ ГАЗОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА УГОЛЬНУЮ ПЫЛЬ

Выделены особенности пожара, который произошел на Углегорской ТЭС в Донецкой области Украины. Дана оценка катастрофы. Выявлены общие причины аварии, которые могут привести к подобным последствиям и на других объектах, использующих в своей работе уголь. Представлены возможности предотвращения подобных катастроф с помощью импульсных средств взрывопожарной защиты.

Ключевые слова: угольный энергоблок; газовый энергоблок; газовая энергозависимость; тушение и предотвращение перехода пожара во взрыв; горящая угольная пыль; метод и техника импульсного тушения.

Углегорская ТЭС (далее — УТЭС) — самая мощная (3600 МВт) на территории Донецкой области и единственная на Украине, работающая на угольной пыли, — была выведена из строя в результате катастрофического пожара. 29 марта в 15:15 в г. Светлодарске (г. Дебальцево) на втором блоке УТЭС произошло возгорание оборудования, которое перетирает уголь в пыль. В дальнейшем огонь распространился на кровлю здания на площади ориентировочно 1500 м² (рис. 1). Силами спасательных подразделений из задымленной среды спасены 10 человек; в 17.29 при тушении пожара обнаружено тело погибшего. Процесс тушения пожара на Углегорской теплоэлектростанции продолжался в течение 14 часов. В результате пожара произошло полное разрушение здания и сильно повреждено оборудование котельно-турбинного цеха, работающего на угольной пыли. На энергоблоках разрушены четыре турбины, сгорела и обвалилась крыша на площади 1500 м²; один человек погиб и пятеро получили сильные ожоги. Работа УТЭС была остановлена, и 12-тысячный город остался без тепла и электроэнергии. Но это только первые убытки. Последствия пожара грозят перерасти в катастрофу государственных программ. УТЭС — единственная из государственных теплоэлектростанций на Украине, работающая на угле марки “Г”. Ее остановка грозит государственным шахтам проблемами с крупномасштабным сбытом угля, основным потребителем которого на Украине была прежде всего УТЭС.

В тушении пожара были задействованы 40 единиц основной и специальной техники, в горящем

помещении находилось около сотни огнетушителей, что в совокупности с анализом результатов пожара убедительно демонстрирует низкую эффективность пожарной техники. Тот же вывод следует из анализа процессов тушения других крупных пожаров за последние 20 лет. Традиционная пожарная техника уже практически лишена перспектив на повышение эффективности тушения. Многократные модернизации ее за последние 20 лет позволили достичь повышения дальности подачи ОТВ и увеличения площади тушения не более чем на 20–30 %, причем очень дорогой ценой — повышением себестоимости производства более чем в 10 раз. В то же время лучшие современные профессиональные пневмоимпульсные огнетушители производства Германии, США, Австрии стоят 12500 долл. и весят до 20 кг. Тяжелые пожарные автомобили стоимостью до 2,5 млн. долл. имеют два лафетных ствола и два мощных насоса интенсивностью подачи воды до 70 л/с каждый, что делает дальнейшую модернизацию технически трудновыполнимой и экономически нерентабельной. Это позволяет сделать заключение о том, что традиционная техника для тушения пожаров и защиты объектов морально и технически устарела [1, 2].

Ситуацию усугубляет и то, что на Украине (и в меньшей степени в России) началась давно предсказываемая рядом ученых серия крупных техногенных катастроф. Основная причина — изношенное оборудование, которое не имело капитального ремонта и не заменялось со времен распада СССР. Другие причины, усугубляющие первую, — это низкая про-



Рис. 1. Стадии развития катастрофического пожара на Углегорской ТЭС

изводственная дисциплина, несоблюдение мер безопасности, отсутствие контроля за безопасностью и отсутствие эффективных огнетушителей, с помощью которых рабочие могли бы самостоятельно тушить различные возгорания (например, возгорание угольной пыли (далее — УП), с которого и начался катастрофический пожар на УТЭС). Воспоминания очевидцев подтверждают сделанные выводы: «Пожар начался с возгорания угольной пыли в перетиральном уголь, пылеобразующем оборудовании второго блока теплоэлектростанции, потом огонь распространился на крышу здания. Мы были в турбинном цеху, и угольная пыль начала немного гореть (локально возгораться). Мы не успели сообразить, как она вся вспыхнула. Мы бросились на улицу.

А в другом отделении были еще ребята. Не знаю, выбрались ли они: там было сильное задымление. Надеюсь, их спасли. Почему загорелась пыль? Да из-за халатности! Ее орошать должны были».

По свидетельствам очевидцев рабочие не потушили возгорания угольной пыли из-за отсутствия выполнения графика регулярной уборки и орошения пыли между уборками, отсутствия эффективных огнетушителей и тренировок с ними с целью достижения требуемой скорости осуществления операций тушения быстроразвивающихся возгораний угольной пыли.

Все виды угля относительно легко возгораются, а возгорание угольной пыли с высокой вероятностью может перейти во взрыв. Наиболее пожаро-взрывоопасный черный коксующийся уголь близок по своим свойствам к древесному углю — основному компоненту высокочувствительного к удару и легковоспламеняющегося черного пороха. Черный уголь в процессе измельчения и в свежем измельченном состоянии (в течение относительно длительного времени — до нескольких часов) после превращения в УП способен присоединять кислород при обычной температуре и самовоспламеняться. Черный измельченный уголь более подвержен самовоспламенению, чем бурый [2]. Уголь возгорается в течение 5–15 мин при интенсивности облучения 35 кВт/м^2 [3].

Угольный порошок при толщине слоя 200–300 мм может самовозгораться при температурах всего 80–100 °С. При проведении технологических операций с углем легко образуются аэровзвеси, которые могут воспламенить слой осажденной угольной пыли, имеющей низкую температуру самовоспламенения. Увлажненная УП, которая отличается особенно неравномерным распределением по толщине и площади слоя, в ряде случаев более склонна к самовозгоранию по сравнению с сухой УП.

Важной особенностью является способность даже небольшой массы УП при ее вспышке или небольшом взрыве приводить за счет действия образовавшейся ударной волны в состоянии аэровзвеси более значительные массы осажденной пыли. В этом случае объемный взрыв может распространяться на значительные дистанции (сотни метров и более) и по громадным площадям везде, где находится угольная пыль, что и произошло в более мягком варианте в пылепроизводящем оборудовании УТЭС. Легкость перехода осажденной пыли во взрывоопасную аэровзвесь повышается по мере уменьшения размера и плотности частиц, силы их взаимного сцепления, зависящей также от их влажности. С другой стороны, при наличии ударной волны увлажненный (и следовательно, уплотненный) слой угольной пыли спо-

собен к дефлаграции — низкоскоростному, нестабильному режиму детонации [4].

При суточных мощностях потребления топливной пыли на УТЭС от 700 до 1100 т неизбежно будут образовываться многотонные отложения пыли* на территории помещений с измельчительными аппаратами. В таких условиях любая локальная вспышка, например от саморазогрева, с большой вероятностью приведет к мощному вторичному взрыву взвихренных даже слабой ударной волной от вспышки отложений пыли. Традиционные меры по предотвращению таких взрывов требуют тщательной очистки всей территории помещения с измельчительными аппаратами не менее 3 раз в сутки и регулярного увлажнения отложений пыли тонкораспыленной водой до нескольких раз в час [4].

Статистика пылевых взрывов показывает, что наиболее взрывоопасна именно угольная пыль. При ее взрывах достигается максимальное давление взрыва от 6 до 12 бар, скорость нарастания давления составляет 27–140 бар/с. При этом поражающая эффективность взрыва зависит в большей степени от нарастания давления, чем от его конечной величины [4, 5]. УП создает взрывозвесь с нижним концентрационным пределом воспламенения 15–18 г/м³ и избыточным давлением взрыва в помещении более 5 кПа (0,05 атм). Взрывы угольной пыли на шахтах, в угольных терминалах, углеизмельчительных аппаратах составляют примерно 2–3 % от ежегодного количества случаев в промышленности, но приобретают большую известность из-за громадного материального ущерба и множества человеческих жертв. Так, например, при взрывах нескольких тонн паров легковоспламеняющегося растворителя во Фликсборо зона полных разрушений имела радиус 1,6 км, сильных — до 2,4 км, средних — до 4,8 км. Находящиеся в этих зонах сотни людей погибли или в лучшем случае были искалечены.

На рабочих, заметивших возгорание угольной пыли, вины нет: они не могли его потушить, даже если бы у них под рукой были готовые к действию современные огнетушители (порошковые, водяные или пенные). Дело в том, что ударное воздействие огнетушащей струи с узким фронтом на горящую на большой площади пыль обеспечивает только локальное тушение — по площади фронта струи, но при этом распыляет, взвихривает окружающую зону тушения слой пыли, что приводит к усилению горения в виде вспышки и к дальнейшему ускорению распространения пожара, вплоть до перехода во взрыв

образовавшегося воздушно-пылевого облака. Горящую пыль можно потушить только огнетушащим потоком, имеющим фронт большой площади (не менее 2–3 м²), который мягко и одновременно воздействует на слой горячей пыли, тушит сразу большую площадь и несильно турбулизирует пыль вокруг зоны тушения. Относительно мало взвихренная пыль смешивается с газокapельным потоком, который одновременно с воздействием фронта накрывает площадь взвихренной пыли вокруг потушенного участка. Такое воздействие может быть реализовано только новой техникой, распыляющей воду выстрелом и залпом.

К такой технике относится **многоствольный модуль (ММ), распыляющий воду залпом**. Он может эффективно тушить быстроразвивающееся возгорание и пожар УП, предотвращать взрыв УП с дистанций до 120 м. Такие ММ можно размещать вдоль стен с шагом 10–20 м, как сеть исполнительных устройств автоматизированной системы защиты здания, в котором находятся измельчительные аппараты. Модули срабатывают одновременно или последовательно. Благодаря простоте, надежности, высокому качеству работы и многоплановости воздействия многоствольная распылительная “пушка” может монтироваться внутри различных зданий или на открытых площадках хранения или измельчения угля со слоями УП, нефтедобывающей платформе танкера и эффективно защищать эти объекты. Залп из 10 стволов создает крупномасштабный шквал с дальностью до 120 м, шириной фронта до 20 м и высотой до 5 м. Такой шквал обеспечивает тушение пожара на площади до 1000 м² за секунду.

Первая распыляющая выстрелом или залпом многоствольная пожарная установка на полюзьях была испытана в 1982 г., и с тех пор продолжались работы по совершенствованию многоствольных систем в плане повышения определяющих огнетушащую эффективность основных тактико-технических характеристик: массы метаемого состава, начальной скорости распыления, времени перезаряжания, безотказности, надежности работы, дальности, проникающей способности, площади фронта распыленного огнетушащего состава. Установлены оптимальные калибр и длина ствола, разработана компоновка многоствольной системы, созданы элементы раздельно-гильзового заряжания — вышибной заряд и герметичная цилиндрическая емкость-гильза. Это позволяет обеспечивать быстрое заряжание в ствол и гарантированное долговременное (до 10–15 лет) хранение любого огнетушащего состава (порошка, геля, жидкости) с различными характеристиками (дисперсностью, плотностью, вязкостью, смазываемостью, химической активностью). Это даст

* Если при однократной перегрузке коксующегося угля количество образующейся пыли будет составлять от 1 до 3 % массы перегружаемого коксующегося угля и утечек угольной пыли из измельчительных аппаратов, то ежесуточно будет образовываться от 21 до 33 т пыли.

возможность сосредоточить во многих местах достаточные запасы огнетушащих боеприпасов, а также монтировать заряженные многоствольные модули на опасных участках, легко и просто обеспечивая их многолетнее нахождение в режиме ожидания. Помимо этого, в любое время и незамедлительно обеспечивается комбинированное огнетушащее воздействие с помощью нескольких последовательных (с регулируемыми интервалами) залпов различных распыленных огнетушащих составов. Тонкодисперсное, высококонцентрированное, вихревое распыление этих составов мощными, скоростными газовыми потоками обеспечивает их высокоэффективное использование в зонах горения (над раскаленной поверхностью горящего материала и внутри его) с одновременным разрушением и охлаждением обугленного высокотемпературного слоя — энергетической основы зоны горения. При этом обеспечивается проникновение огнетушащего вихря в горящие конструкции со сложной конфигурацией поверхности.

Значительные приоритетные исследования в области механики и динамики импульсных многофазных потоков, а также внутренней и внешней баллистики взрывных многоствольных систем позволили установить ряд новых закономерностей процессов образования, распространения и огнетушащего воздействия импульсных газодисперсных струй и многоструйных потоков. На основе анализа этих новых закономерностей разработаны новые уникальные методы гибкого и оперативного управления скоростью, кинетической энергией, дальностью, масштабами, кратностью и видом воздействия огнетушащих потоков.

Отработаны методы многоцелевого защитного воздействия путем управляемого комбинированного распыления различных защитных составов из многоствольных установок. Так, например, обеспечивается постановка светотеплозащитных завес заданных размеров, конфигураций и сред, предотвращающих воспламенение и взрывы газовых, паровых

и пылевых сред. Отработаны методы создания мощных направленных потоков, способных разрушить и локализовать выбросы активных веществ, а также активные пыли и аэрозоли на разных сложных поверхностях.

Модули универсального импульсного распыления, в частности 50-ствольная система пожаротушения “Импульс-3М”, смонтированная на шасси танка Т-62 (изготовлено 35 установок), уже нашли свое применение в ряде пожарных частей России (15 ед.) и Украины (7 ед.). Залп из 10 стволов системы (оптимальное количество стволов в залпе) обеспечивает дальность распыления 250 кг огнетушащего порошка до 110 м, дальность тушения до 100 м и площадь эффективного тушения до 1000 м², как показано в табл. 1, составленной на базе результатов полигонных испытаний [6, 7].

Другой вариант для тушения возгораний УП рабочими в первые секунды после возгорания — применение быстродействующих огнетушителей, распыляющих выстрелом, со временем подготовки не более 2–3 с на снятие предохранителя и прицеливание [6, 8]. Эти новые огнетушители должны иметь размер и массу, позволяющие держать их в постоянной боевой готовности вблизи рабочих мест и быстро переносить вручную. Они должны быть надежными, простыми и удобными в применении.

Ниже показаны преимущества применения импульсного патронного универсального распылителя ПРИВ-1 по сравнению с традиционными огнетушителями при тушении лесного пожара в труднодоступной местности. При практическом применении прежде всего важны преимущества по весу и удобству при транспортировке к месту пожара. Как правило, пожарные не берут с собой пневматических и гидравлических огнетушителей из-за их малой огнетушащей эффективности, большой массы и значительных размеров. Сравнение лучших огнетушителей показано в табл. 2.

Таблица 1. Основные тактико-технические параметры многоствольных модулей на различных шасси

ММ на разных шасси	Параметры пожаротушения и взрывопредотвращения						Масса, кг	
	Радиус, м		Площадь, м ²		Объем, м ³		ОТВ	ММ (общая)
	Вода	Порошок	Вода	Порошок	Вода	Порошок		
6–9-ствольный на тележке, салазках	45	60	450	550	1300	2000	60	90
20-ствольный на джипе, лафете	40	80	1000	1500	2000	3000	400	1000
40-ствольный на грузовике	40	80	2000	2500	3000	5000	800	2500
50-ствольный на танке	50	120	2000	3000	4000	6000	1500	35000
100-ствольный на тяжелом грузовике	50	120	4000	5000	6000	10000	3000	25000
8-ствольный на роботизированном шасси	30	40	120	200	240	400	100	200

Таблица 2. Параметры лучших современных огнетушителей

Параметр	Пневматические		Импульсные пневматические					Патронные пороховые	
	ОП-10 (Украина)	ОВ-9 (Россия)	IFEX-3012 (Германия)	TSIS (США)	Гирс (Россия)	ЗУРО (Россия)	Игла (Россия)	АКМ (Россия)	ПРИВ (Z-pulse Tech, Украина)
$V_{\text{расп}}$, кг/с	0,3	0,35	1	1	1	0,3	1	0,5	1
$V_{\text{туш}}$, м ² /с	0,2	0,25	1	1	0,8	0,4	0,8	0,4	2–6
$L_{\text{расп}}$, м	5–6	4–7	3–5	5–7	12	4–5	10	8	16
$L_{\text{туш}}$, м	2	3	1–1,5	1,5–2	3	2–3	4–5	3	10–12
$S_{\text{туш}}$, м ²	3–5	4–6	10–12	8–10	9–11	3–5	10	8–12	12–30
$F_{\text{отд}}$, кг·м	0,9	1,3	3,8	4	4,1	1,7	4	2,3	1,7
$M_{\text{общ}}$, кг	17,5	16	19,5	18	24	8,5	23	25	5,5 + 10 контейнеров
$M_{\text{ос}}$, кг	10	9	12	10	15	4,2	10	12	10 контейнеров по 1 л массой 1,1 кг
Распыляемый ОС	Порошок	Вода, очищенная с применением дорогих фильтров							Вода, растворы, гели густые, порошки, песок, грязь, пыль
Энергия распыления	Сжатый воздух в тяжелых баллонах высокого давления							Патрон холостой	
Время перезарядки, с	600	240	3–5	3–5	3–5	3–5	3–5	3–5	5–10
Стоимость, долл.	110	90	13900	12000	3500	1200	4500	2500	500
Характеристика	Тяжелые, неудобные, малоэффективные, сложные в работе; маловероятно тушение даже при работе с ними пожарных	Очень дорогие и сложные в работе. Ремонтируются только высококвалифицированными специалистами от фирмы-изготовителя. Опасные в работе: малая дальность в сочетании с мгновенным образованием перегретого пара; опасность разрыва шлангов и баллонов высокого давления. Тяжелые и неудобные при переноске и тушении						Дорогие, тяжелые	Легкие, удобные, надежные (на уровне нестрелкового оружия), безопасные

Примечание. ОС — огнетушащий состав; $V_{\text{расп}}$, $V_{\text{туш}}$ — скорость соответственно распыления ОС и тушения; $L_{\text{расп}}$, $L_{\text{туш}}$ — дальность соответственно распыления ОС и тушения; $S_{\text{туш}}$ — площадь тушения; $F_{\text{отд}}$ — сила отдачи; $M_{\text{общ}}$, $M_{\text{ос}}$ — масса соответственно общая и ОС.

Один ПРИВ-1 одним распылительным выстрелом за 1 с способен тушить до 5–10 м кромки горячей угольной пыли и до 8 м² площади горячей пыли. Импульсный метод подачи практически исключает потери огнетушащего состава при достижении оптимального режима распыления. Десятью распылительными выстрелами можно потушить соответственно до 50–100 м кромки горячей угольной пыли и до 80–90 м² площади горячей пыли. Десять огнетушителей могут потушить до 500–1000 м кромки горячей угольной пыли и до 800–900 м² площади горячей пыли или очагов средней величины с учетом впервые достигнутой дальности действия. Время тушения, перезарядки и прицеливания составляет не более 10 с. Таким образом, импульсные огнетушители способны сократить время тушения в 5–10 раз. При задержке транспортировки контейнеров пожарный может перейти на распыление



Рис. 2. Распыление 1,5 кг мокрого песка на 25 м по горизонтали и до 14 м в высоту под углом до 75°

природных материалов (грунт, грязь, песок (рис. 2), вода), используя для перезарядки отработанные контейнеры и холостые патроны, выдаваемые в количестве не менее 100 шт. каждому оператору импульсного огнетушителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кряжич О. А., Захматов В. Д. Модели управления импульсной взрывопожарной защитой химического предприятия // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 1. — С. 81–88.
2. Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь / Под ред. Б. П. Жукова. — Изд. 2-е, испр. — М. : Янус-К, 2000. — 596 с.
3. Таубкин С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. — М. : ВНИИПО, 1999. — 600 с.
4. НПБ 105–03. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. — Введ. 01.08.2003 г. — М. : ВНИИПО, 2003.
5. Таубкин С. И., Таубкин И. С. Пожаро- и взрывоопасность пылевидных материалов и технологических процессов их переработки. — М. : Химия, 1976. — 264 с.
6. Захматов В. Д., Кряжич О. О. Особливості системи захисту хімічного підприємства // Екологічна безпека та природокористування. — КНУБА МОН, ІТГП НАНУ — Київ, 2012. — Вип. 10. — С. 151–165.
7. Захматов В. Д. Система комплексной ликвидации аварийных ситуаций на взрывоопасных и химически опасных промышленных объектах // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 9. — С. 43–59.
8. Захматов В. Д. Для тушения лесных пожаров эффективны импульсные огнетушители // F+S; технологии безопасности и противопожарной защиты (Киев). — 2012. — № 6 (60). — С. 62–65.

Матеріал поступив в редакцію 1 апреля 2013 г.

English

GOVERNMENT PROGRAM THREAT ON POWER INDEPENDENCE OF UKRAINE — TRANSFER OF GAS POWER STATIONS INTO COAL

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

ABSTRACT

The greatest electric power station of Donetsk region and most powerful Ukraine carbon-dust station was burned, destroyed and stopped electric produce for long period, at least. This fire accompanied with great economical damage of Donetsk region and great remote damage — Government program of energy independence Ukraine by transform gas electric power station to carbon dust was stopped for a long time. The catastrophic fire showed jugulars of program — down level of fire and explosion safety of energy object, depending on the main reasons: very shabby technology equipment, poor discipline, qualification, safety control. Therefore old fire method and technique can't be effective, as it was at numerous industry accidents at last 20 years. Ukraine enter in period of regular technogenic and industry catastrophes because of abovementioned reasons. This situation can't be relax in trend of ensure safety of population around only by new method and technique of localization and liquidation of various consequences of accidents. Ukraine was acknowledge science leader in fire and multi-purpose safety pulse-shoot and weak explosive spray-pulverization technology in time of USSR.

Keywords: carbon dust electric generator; electric power station; energy independence; fire-fighting and prevention of volume explosion; burning carbon dust; method and technique of pulse-shoot spray-pulverization of extinguishing agents.

REFERENCES

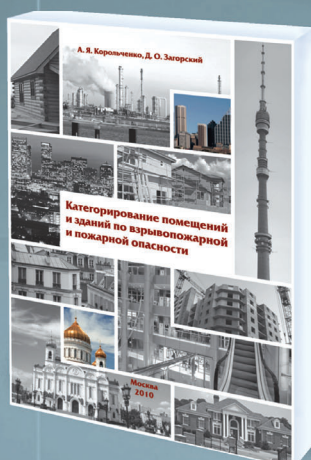
1. Kryazhich O. A., Zakhmatov V. D. Modeli upravleniya impulsnoy vzryvopozharnoy zashchitoy khimicheskogo predpriyatiya [Models of control of pulse protection against explosions and fires at the chemical enterprise]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 1, pp. 81–88.

2. Zhukov B. P. (ed.) *Energeticheskiye kondensirovannyye sistemy. Kratkiy entsiklopedicheskiy slovar* [The power condensed systems. The short encyclopaedic dictionary]. Moscow, Yanus-K Publ., 2000. 596 p.
3. Taubkin S. I. *Pozhar i vzryv, osobennosti ikh ekspertizy* [Fire and explosion, features of their examination]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 1999. 600 p.
4. *Fire Protection Standards 105–03. Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2003 (in Russian).
5. Taubkin S. I., Taubkin I. S. *Pozharo- i vzryvoopasnost pylevidnykh materialov i tekhnologicheskikh protsessov ikh pererabotki* [Danger of a fire and explosion of materials in the form of a dust and technological processes of their processing]. Moscow, Khimiya Publ., 1976. 264 p.
6. Zakhmatov V. D., Kryazhich O. O. Osoblivosti sistemy zashistu himichnogo pidpriemstva [Features of system of protection of the chemical enterprise]. Kiev, *Ekologichna bezpeka ta prirodokoristuvannya*, 2012, issue 10, pp. 151–165.
7. Zakhmatov V. D. Sistema kompleksnoy likvidatsii avariynykh situatsiy na vzryvoopasnykh i khimicheskikh opasnykh promyshlennykh ob'yektakh [System of combine liquidation of emergency consequences at explosive able and toxically dangerous chemical enterprises]. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 9, pp. 43–59.
8. Zakhmatov V. D. Dlya tusheniya lesnykh pozharov effektivny impulsnyye ognetchistiteli [For suppression of forest fires pulse fire extinguishers are effective]. Kiev, *F+S; tekhnologii bezopasnosti i protivopozharnoy zashchity*, 2012, vol. 60, no. 6, pp. 62–65.

ООО “ИЗДАТЕЛЬСТВО “ПОЖНАУКА” ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский

Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности



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

В качестве приложения в пособие включен СП 12.13130.2009 “Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности”.

Книга рассчитана на сотрудников проектных организаций, промышленных предприятий и складских комплексов, а также работников Государственного пожарного надзора МЧС России, занимающихся вопросами обеспечения пожарной безопасности.

Web-сайт: firepress.ru

Эл. почта: mail@firepress.ru, info@fire-smi.ru

Тел./факс: (495) 228-09-03

**8-10
ОКТАБРЯ**

г.Уфа, Республика Башкортостан

IV Межрегиональный

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ



XVIII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

УРАЛЭКОЛОГИЯ.

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 2013

Организаторы:

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

При поддержке:

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

выставочный центр
ЛИГАС LIGAS

тел.: (347)253-72-23, 253-79-57

e-mail: ligas@ufanet.ru

www.ligas-ufa.ru

В. В. ХОЛЩЕВНИКОВ, д-р техн. наук, эксперт Республиканского исследовательского научно-консультационного центра экспертизы РФ, профессор, Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: reglament2004@mail.ru)

УДК 614.841

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ВЕЛИЧИНЫ СКОРОСТИ ЛЮДСКОГО ПОТОКА

Рассмотрены результаты натурных наблюдений людских потоков, проведенных визуальным методом и пришедшим ему на смену методом кино- или видеосъемки. Показано, что произошедшие технические изменения методов очевидны для всех исследователей, но соответствующие изменения техники статистических исчислений значений параметров и их суть остаются в большинстве случаев, как показывает практика, непонятыми.

Ключевые слова: людской поток; эвакуация; методы натурных наблюдений; скорость людского потока.

Введение

Людской поток — стохастический процесс, вариативность характеристик которого определяется психофизиологическим состоянием людей в его составе и разнообразием их индивидуальных физических данных. Однако в противопожарном нормировании процесс его движения при эвакуации описывается детерминированными зависимостями.

Установление расчетного значения скорости V людских потоков различного состава является одной из основных задач при проведении натурных наблюдений и экспериментов, поскольку зависимость скорости потока от плотности $V = \varphi(D)$ определяет и интенсивность его движения: $q = VD$. Эти три величины являются основными параметрами при расчетах процесса эвакуации людей из зданий и сооружений [1], оценке его беспрепятственности и своевременности [2] и при нормировании размеров эвакуационных путей и выходов в зданиях всех классов функциональной пожарной опасности (СНиПы, СП). В то же время *скорость людского потока не является непосредственно наблюдаемой величиной*: она рассчитывается как среднее из фиксируемых значений длины пути l_i и времени движения t_i отдельных наблюдаемых людей i . Для ее установления используются визуальный или кинометод натурных наблюдений.

Методы натурных наблюдений

При визуальном методе натурных наблюдений [3] нет возможности фиксировать движение каждого человека в потоке в отдельные промежутки вре-

мени Δt . Он реализуется следующим образом. Цитируем [3]: “Прежде всего, интересующий наблюдателя эвакуационный путь, например коридор, выбирается по возможности одинаковой ширины на достаточно большом расстоянии. В пределах этого пути намечался опытный участок (рис. 1) и замерялась его ширина δ , м.

Затем выбиралось удобное для наблюдателя место (черный квадрат), от которого по длине исследуемого участка пути в сторону, откуда должен двигаться поток людей, отмерялось произвольное (5–8 м), но ясно выраженное расстояние Δl , м, до какого-либо предмета, хорошо видимого наблюдателю (окно, картина на стене и т. п.).

Во время движения потока наблюдатель выбирал в толпе заметного по росту или костюму человека (на рис. 1 он показан красным кругом со стрелкой). В момент, когда выбранный в толпе человек достигал предмета, до которого было отмерено расстояние Δl , наблюдатель замечал время и одновременно начинал подсчет количества (n) людей, проходящих мимо него, до тех пор, пока выбранный в толпе че-

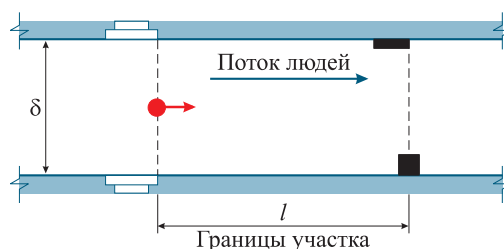


Рис. 1. Схема участка пути, где замеряется плотность и скорость потока

людей не достигал одновременно с ней места расположения наблюдателя. В это время подсчет прекращался, и вновь фиксировалось время.

В результате каждого замера в распоряжении наблюдателя оказывались следующие цифры:

- ширина δ , м, и длина Δl , м, подопытного участка и
- время Δt , с, прохождения потоком этого участка;
- число людей n , прошедших мимо наблюдателя за тот же промежуток времени.

Из полученных цифр по формулам (1) и (2) находилась средняя плотность потока в момент замера:

$$D = n/(\delta \Delta l), \text{ чел./м}^2, \quad (1)$$

$$D = \sum f/(\delta \Delta l), \text{ м}^2/\text{м}^2, \quad (2)$$

где f — площадь горизонтальной проекции одного человека, м^2 .

Величина его скорости определялась из выражения

$$V = 60 \Delta l / \Delta t, \text{ м/мин.} \quad (3)$$

Такие замеры в ходе одной и той же эвакуации здания могли производиться и производились последовательно по два, три и более раз”.

Значения, подсчитанные по формуле (3), группируют в вариационные ряды по интервалам плотности, т. е. формируется упорядоченная выборочная совокупность данных:

$$60 \Delta l (1/\Delta t_i, 1/\Delta t_{i+1}, 1/\Delta t_{i+2}, \dots, 1/\Delta t_{i+n}), \quad (4)$$

величин, обратных значениям интервалов времени Δt_i , фиксируемым при наблюдениях. Затем по полученным данным строятся диаграммы эмпирических распределений полученных значений, которые и считаются статистическими распределениями случайной величины V в каждом интервале плотности потока при его движении по тому или иному виду пути (горизонтальный, проем, лестница вниз, лестница вверх).

При использовании кинометода [4] людской поток фиксируется на киноплёнку или карту памяти цифровой камеры, изображения с которой затем при камеральной обработке проецируются на экран, на котором положение любого (наблюдаемого) человека в любой момент съемки фиксируется точкой, образуя кинограмму (рис. 2).

Кинограммы обрабатываются в следующем порядке [5]:

“1. Перед проведением измерений выбирается необходимый размер экрана-планшета так, чтобы при проецировании изображение было достаточно ясным и четким. На экран наносятся участки пути и масштабная сетка с шагом 1 м с учетом перспективных искажений.

2. На перфорацию киноплёнки наносится разметка кадров, подлежащих обработке: отмечается

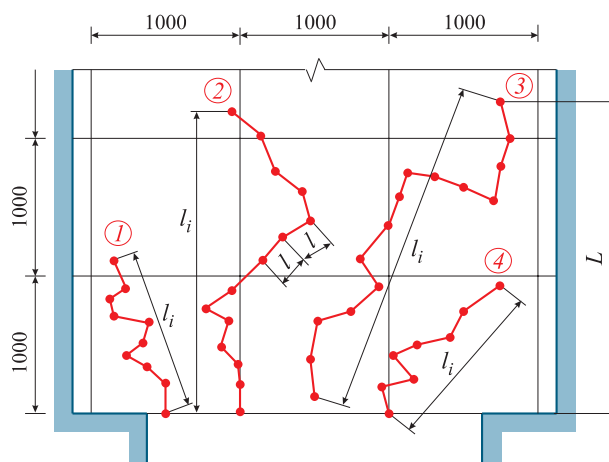


Рис. 2. Фрагмент кинограммы движения наблюдаемых людей (1–4) в потоке при высокой плотности: ● — положение человека через интервал времени Δt

каждый 12-й или 24-й кадр, поскольку съемка ведется с частотой 24 кадра в секунду. Этой разметке соответствуют интервалы времени между кинокадрами $\Delta t = 0,5$ или 1 с.

3. Проецируя на экран первый кадр, делают необходимые измерения и затем обрабатывают следующий кадр.

Для определения скорости движения при обработке кино- и фотоматериалов из общего числа эвакуирующихся выбирают наиболее заметных людей, которые не исчезают на кадрах... По масштабной сетке замеряется длина пути (Δl), пройденная заметным человеком за время (Δt), равное интервалу между съемками. Одновременно замеряется длина пути L , пройденная заметным человеком, начиная с первого по n -й кадр, т. е. весь путь, пройденный за время $\Delta t(n-1)$. Зная длину пути и время движения, определяют скорость движения заметного человека за время Δt и среднюю скорость на всем участке пути эвакуации.

При обработке киноматериала средняя скорость движения находится из выражения

$$V = 60 L \omega / m_n = 1440 / m_n, \text{ м/мин,} \quad (5)$$

где m_n — количество снятых кадров киноплёнки; ω — частота киносъемки, равная 24 кадрам в секунду”.

Плотность людского потока при применении кинометода определяется подсчетом количества людей, оказавшихся в ячейке масштабной сетки, в которой находится наблюдаемый человек, по формуле (1) или (2); значения δ и Δl равны размерам сторон установленной ячейки. Если при просмотре двух последовательно просматриваемых кадров в разбивочной ячейке оказывается разное количество людей, то плотность потока принимается равной среднему из нескольких значений.

Время движения людского потока и длина пройденного им пути — функции случайного аргумента

Эти операции подготовки статистических данных при использовании и визуального, и кинометодов представляются настолько “естественными”, что от внимания исследователей ускользает вероятностная суть наблюдаемого процесса.

Из приведенных цитат видно, что и визуальный метод, и кинометод для определения скорости движения людского потока используют одно и то же, привычное для всех, соотношение:

$$\Delta l = V \Delta t. \quad (6)$$

Однако в данном случае в этом соотношении V — случайная (а не детерминированная) величина, закон распределения вероятностей значения которой описывается числовыми характеристиками, определяющими положение центра распределения и отклонения от него наблюдаемых значений.

При этом в визуальном методе Δl — постоянная величина, а Δt — переменная величина, изменяющаяся для наблюдаемых людей в зависимости от значения скорости движения каждого из них, т. е. Δt является функцией аргумента (V), имеющего неизвестный закон распределения плотности вероятностей $f(V)$. Поэтому Δt также является случайной величиной, закон распределения $g(\Delta t)$ которой зависит от вида функции $f(V)$ и зависимости Δt от V .

При визуальном методе параметр Δt связан с аргументом V зависимостью

$$\Delta t = \Delta l / V, \quad (7)$$

т. е. при постоянном значении Δl параметр Δt обратно пропорционален скорости.

В кинометоде, наоборот, Δt — константа, а Δl — функция случайного аргумента V :

$$\Delta l = \Delta t V, \quad (8)$$

т. е. Δl также является функцией, но линейной, случайного аргумента и поэтому имеет закон распределения плотности вероятностей $g(\Delta l)$.

Рассматривая эти два метода с более общих позиций [6], нетрудно заметить, что при применении визуального метода строится распределение времени прихода людей в заданное сечение пути, а при использовании кинометода определяется распределение людей по длине пути в заданный момент времени. С этой точки зрения описанные методы натурных наблюдений, преследующие цель установить скорость людского потока, представляют собой фрагмент процесса движения людей из источника людского потока (в данном случае — от начальной границы выделенного участка пути) до его стока (которым здесь является граница, замыкающая этот “опытный” участок пути).

Из теории вероятностей и математической статистики известно [7–9], что если случайная величина X (аргумент) имеет распределенные функции $f(x)$, а другая — Y является ее функцией (функцией случайного, а не детерминированного, как в классической математике, аргумента), т. е. $Y = \phi(x)$, то плотность распределения $g(y)$ величины Y определяется по формуле

$$g(y) = f(x) \phi(y) [\phi^{-1}(y)], \quad (9)$$

где $\phi(y)$ — функция, обратная функции $\phi(x)$, которая существует и имеет производную; $[\phi^{-1}(y)]$ — модуль производной обратной функции.

Тогда в визуальном методе функция, обратная (7), имеет вид:

$$V = \phi(t) = l/t, \quad (10)$$

а ее производная

$$\phi^{-1}(t) = -l/t^2. \quad (11)$$

Следовательно, функция (9) при использовании визуального метода даст асимметричный вид закона распределения плотности вероятности $g(\Delta t)$. Это и проявляется при анализе результатов натурных наблюдений, проведенных визуальным методом (рис. 3) [10].

Таким образом, определить действительный вид закона распределения $f(V)$ по данным визуального метода наблюдений не представляется возможным.

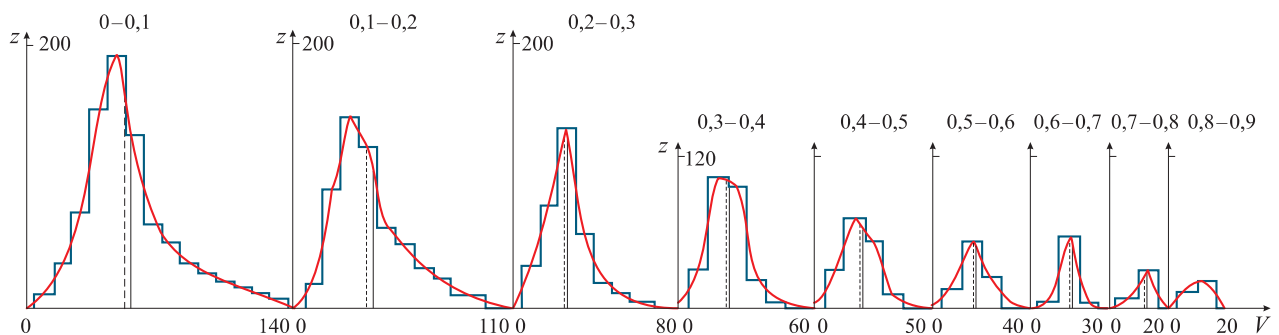


Рис. 3. Примеры гистограмм и полигонов распределения скоростей движения по горизонтальным путям, полученных визуальным методом

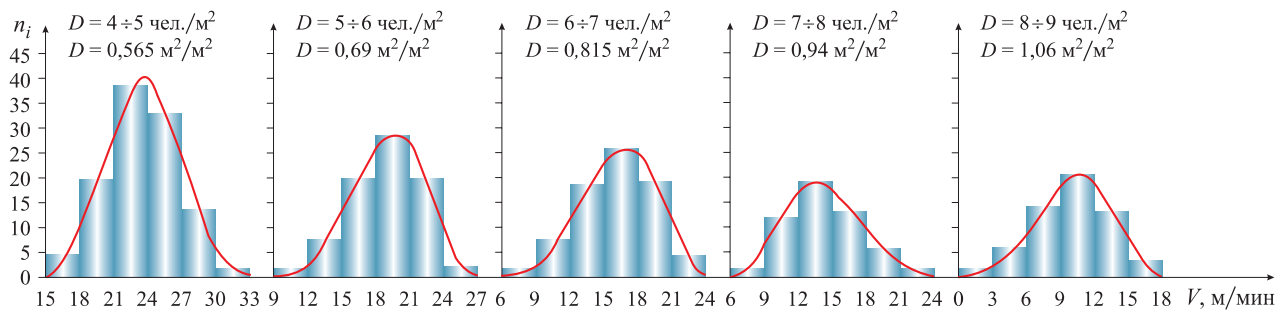


Рис. 4. Нормальное распределение скорости движения людей $f(V)$ в исследованных интервалах плотности потока [4]

В кинометоде функция, обратная (8), имеет вид:

$$V = \phi(l) = l/\Delta t, \quad (12)$$

а ее производная оказывается (поскольку $\Delta t = \text{const}$) линейной функцией случайного аргумента. Поскольку $g(\Delta l)$ является линейной функцией случайного аргумента, она имеет тот же вид закона распределения, что и определяющий ее аргумент V . Во всех исследованиях, проведенных кинометодом (рис. 4 [5]), получены нормальные законы распределения построенных функций $g(\Delta l)$, что свидетельствует и о нормальном законе распределения определяющего его аргумента $f(V)$:

$$f_i(l) = \frac{1}{t S_V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l/t - \bar{V})^2}{2S_V^2}}, \quad (13)$$

где $\bar{V}$ — математическое ожидание;

S_V — среднеквадратичное отклонение скорости движения людей в потоке.

Непосредственным следствием того, что при определении размеров путей эвакуации и значения t_p в операциях их расчета детерминированным методом используются случайные величины, являются систематические ошибки.

Примеры

Для иллюстрации возникновения этих ошибок рассмотрим пример перемещения четверых участников потока, двигавшихся при высокой плотности, приведенный на кинограмме рис. 2. Здесь точками показаны положения не всех, а отдельных наблюдаемых людей в определенные моменты времени с интервалом $\Delta t = 0,5$ с (каждый 12-й кадр киноплёнки при частоте съемки 24 кадра в секунду). Высокая плотность потока приводила к силовым воздействиям людей друг на друга, что обуславливало несовпадение траекторий перемещения людей с выбранными ими направлениями движения. Так, из кинограммы видно, что траектории перемещений всех четверых наблюдаемых участников потока не совпадают с направлениями по прямым линиям (вдоль l_i), соединяющим точки их первоначального и конечного расположения. Для троих из них (1, 3, 4) индивидуальные направления движений не совпадают и

с общим направлением движения людского потока, который за это время ($\Sigma \Delta t$) проходит вдоль участка пути расстояние $l_{\text{п}}$.

При более свободном движении людей в потоке (при его меньшей плотности, когда отсутствуют силовые воздействия людей друг на друга) траектория перемещения каждого из них, конечно, в большей степени совпадает с выбранным направлением движения. Но и в этом случае они могут не совпадать полностью, поскольку, например, часть более энергичных людей будет обгонять медленно идущих перед ними людей или пересекать траектории движения других людей, как это показано на кинограмме, приведенной на рис. 5.

Таким образом, в большинстве случаев при анализе кинограмм оказывается возможным тремя способами подсчитать скорость людей в потоке за n интервалов времени Δt (с) наблюдения за их движением. Это:

- скорость перемещения человека по траектории его движения $V_{\text{пер}}$ (м/мин):

$$V_{\text{пер}} = 60 \sum_{i=1}^n \Delta l / \sum_{i=1}^n \Delta t; \quad (14)$$

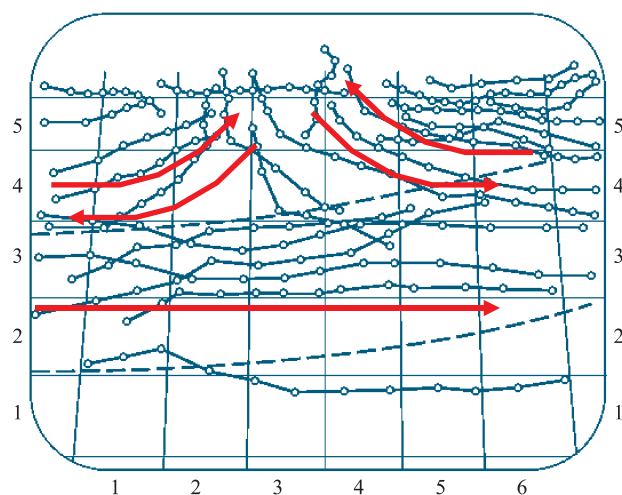


Рис. 5. Схема кинограммы движения людей в потоках по одному из магистральных проходов торгового здания: $\rightarrow$ — направления движения людей в зонах прохода; $\circ$ — положение центра горизонтальной проекции тела человека в различные моменты времени; $---$ — границы зон направлений движения [11]

- индивидуальная скорость человека V_i (м/мин), измеренная по оси его движения от начальной до конечной точки (длина его индивидуального пути l_i):

$$V_i = 60 l_i / \sum_1^n \Delta t; \quad (15)$$

- скорость движения человека V_n (м/мин) вдоль оси движения потока (l_n):

$$V_n = 60 l_n / \sum_1^n \Delta t. \quad (16)$$

Соответствующие значения этих скоростей для четверых участников потока, чьи траектории перемещений представлены на кинограмме рис. 2, приведены в табл. 1.

С учетом данных табл. 1 среднее значение скорости движения людей вдоль линии перемещения потока составит:

$$V_n = (14,00 + 19,38 + 18,77 + 15,43)/4 = 16,90 \text{ м/мин.}$$

Допустим, что дальнейшее движение потока происходит по участку пути длиной $l_n = 15,6$ м того же вида и при той же плотности, что и на рассмотренном участке. Вполне очевидно, что время движения по этому участку каждого из четверых участников составит соответственно: 1,11; 0,80; 0,83; 1,01 мин, тогда среднее время движения потока по этому участку $t_n = 0,94$ мин.

Таким образом, имеются значения трех параметров: длины пути — 15,6 м, скорости движения — 16,90 м/мин и времени движения людского потока — 0,94 мин. Однако эти значения не удовлетворяют естественному, так сказать, соотношению:

$$(\text{расстояние}) = (\text{скорость}) \times (\text{время}), \quad (17)$$

так как $l_n = V_n t_n = 16,90 \cdot 0,94 = 15,89 = 15,9$ м, что больше 15,6.

Этот казус вполне разрешим, если учесть, что равенство (17) справедливо для средних значений случайных величин, находящихся в обратно пропорциональной зависимости только в том случае, если для одной из них берется среднее арифметическое, а для другой — среднее гармоническое (это хотя и недостаточно широко, но давно известное положение [12]).

В рассматриваемом случае, если для времени взято среднее арифметическое ($t_n = 0,94$ мин), то для скорости следует определить среднее гармоническое $V_{\text{гарм}}$ по формуле

$$V_{\text{гарм}} = \frac{n}{\sum 1/V_i}. \quad (18)$$

В данном случае для четверых участников потока $V_n = 4(1/14 + 1/19,38 + 1/18,77 + 1/15,43) = 4/(0,071 + 0,052 + 0,053 + 0,065) = 16,6$ м/мин.

Тогда значение l_n , определенное по (17), составит: $l_n = 16,6 \cdot 0,94 = 15,6$ м, т. е. оно строго соответствует ожидаемому равенству.

Следует отметить, что среди характеристик, наиболее часто применяемых для оценки положения центра распределения вероятности случайной величины, среднее гармоническое всегда меньше среднего геометрического, которое всегда меньше среднего арифметического. Не зная этих нюансов математической статистики, исследователи, пользовавшиеся для установления скорости движения людского потока визуальным методом, руководствовались следующими соображениями. “Средние значения скорости движения были подсчитаны как медианы (M_e) и как среднеарифметические (M)... Предпочтительны средние значения, подсчитанные как медианы, поскольку числовые значения V зависят не только от D , но и от других причин. Кроме того, как следует из рис. 3 (в данном тексте. — *Прим. авт.*), распределение вариантов близко к закону Гаусса с положительной асимметрией (в сторону меньших значений скоростей); при этом значения M_e оказываются ближе к максимуму, т. е. сдвинуты в сторону меньших значений скорости. Следовательно, отклонений от средних значений скорости следует ожидать в меньшую сторону, и поэтому значения M_e более предпочтительны, хотя различие между M_e и M невелико” [10].

Отсутствие знаний о действительном законе распределения наблюдаемых значений скорости движения людских потоков послужило одной из причин некорректного утверждения [10] о несущественности различий зависимостей $V = \varphi(D)$, устанавливаемых в разных сериях натурных наблюдений. Это сдерживало необходимость статистического анали-

Таблица 1. Определение скорости движения человека в потоке

Номер наблюдаемого	n	Время наблюдения $\sum_1^n \Delta t$, с	Длина перемещения $\sum_1^n \Delta l$, м	$V_{\text{пер}}$, м/мин (по (14))	l_i , м	V_i , м/мин (по (15))	l_n , м	V_n , м/мин (по (16))
1	9	4,5	1,56	20,80	1,11	14,80	1,05	14,00
2	13	6,5	2,73	25,20	2,10	19,38	2,10	19,38
3	14	7,0	3,33	28,54	2,76	23,66	2,19	18,77
4	7	3,5	1,50	25,71	1,05	18,00	0,90	15,43

за их однородности [13] и установления психофизически обоснованной связи между скоростью и плотностью людского потока [14, 15].

Скорость движения людского потока — случайная функция

В результате установления закономерности связи между скоростью и плотностью людского потока было показано, что скорость движения по j -му виду пути людского потока в эмоциональном состоянии (индекс “э”) при плотности D_i на i -м участке $V_{j,D_i}^э$ может быть выражена как произведение случайной величины скорости свободного движения людей в нем $V_{j,0}^э$ (при значениях $D_i \leq D_0$, не влияющих на скорость движения людей) на неслучайную функцию:

$$V_{j,D_i}^э = V_{j,0}^э \left[1 - a_j \ln \left(\frac{D_i}{D_{j,0}} \right) \right], \quad (19)$$

в которой коэффициент a_j показывает степень адаптации людей к движению по j -му виду пути.

Причина колебаний скорости зависит от эмоционального состояния людей, их физических возможностей и наличия свободного пространства в потоке. С ростом плотности потока колебания скорости людей уменьшаются: ее дисперсия $S_{V_D}^2$ вычисляется по формуле

$$S_{V_D}^2 = S_{V_0}^2 \left(1 - a \ln \frac{D_i}{D_0} \right)^2. \quad (20)$$

В связи с неодинаковой скоростью движения людей в потоке по мере удаления от источника происходит изменение распределения людей по его длине в различные моменты времени движения (рис. 6).

Этот пример иллюстрирует явление растекания людского потока, которое впервые было описано [16] благодаря исключительной наблюдательности основоположников теории людских потоков [17], не имевших в своем распоряжении методов математического описания случайных процессов. Несмотря на это они еще полвека назад сумели дать следующее словесное описание людского потока как случайного процесса: “Размещение людей в потоке (как по длине, так и по ширине) имеет всегда неравномерный и часто случайный характер. Расстояние между идущими людьми постоянно меняется, возникают местные уплотнения, которые затем рассасываются и возникают снова. Эти изменения неустойчивые во времени... людской поток обычно имеет вытянутую сигарообразную форму” [10, 18] (рис. 7).

При движении головная и замыкающая части состоят из людей, идущих соответственно с большей или меньшей скоростью, чем основная масса людей в потоке. При эвакуации “головная часть потока уходит с большей скоростью вперед... Происходит так называемое переформирование потока за

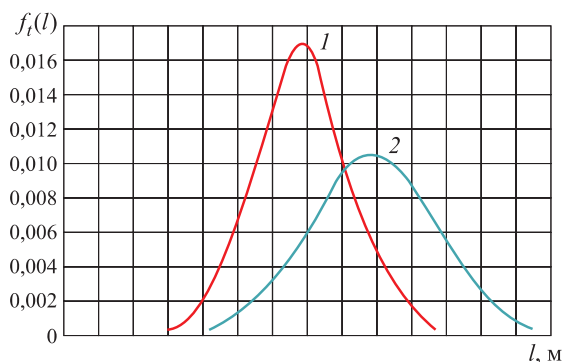


Рис. 6. Пример изменения плотности вероятности распределения людей по длине потока в процессе его свободного движения из источника: 1 — $t = 1$ мин; 2 — $t = 2$ мин

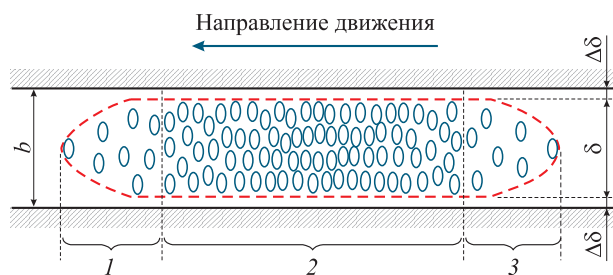


Рис. 7. Схема структуры людского потока: 1 — головная часть; 2 — основная; 3 — замыкающая

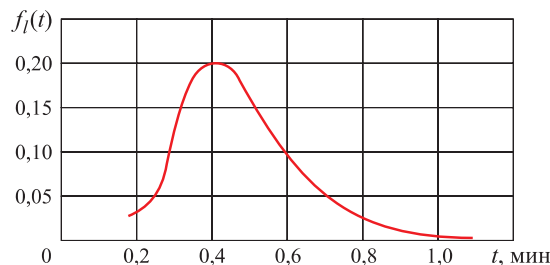


Рис. 8. Плотность вероятности распределения времени прихода людей в сток

счет растекания его головной части, поэтому для аварийных условий необходимо обязательно учитывать растекание потока...” [10].

Это явление четко фиксируется при натурных наблюдениях как время прихода людей в сток $f_l(t)$, находящийся на расстоянии l от источника ($f_l(l)$):

$$f_l(t) = \frac{1}{t^2 S_V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l/t - \bar{V})^2}{2S_V^2}} \quad (21)$$

(например, к переходу через улицу или к сечению пути, являющемуся конечной границей опытного участка в визуальном методе (рис. 8)).

Закключение

Нормирование процессов движения людских потоков при эвакуации и распространения опасных

факторов пожара в целях обеспечения безопасности людей является одним из видов моделирования реальных процессов, имеющих по своей сути стохастическую природу, и поэтому должно в максимальной степени стремиться к ее адекватному отображению. Такой подход предусматривает вероятностную оценку процессов (риски) [19], однако противопожарное нормирование лишь частично осваивает эту непростую область. Так, например, методика определения расчетных величин пожарного риска [1] при определении времени эвакуации $t_{эв}$ допускает использование как имитационно-стохастической модели, так и детерминированных (упрощенной аналитической и индивидуально-поточной) моделей процесса движения людских потоков при эвакуации, которые не учитывают стохастичности используемых в них расчетных параметров. Это неизбежно ведет, как показано, к некорректности получаемых в них конечных результатов.

Определение же расчетных значений $t_{нб}$ полностью базируется на детерминистическом подходе к описанию динамики опасных факторов пожара, тогда как показано [20, 21] (и не в первый раз), что учет стохастичности этого процесса приводит к более опасным для жизни людей расчетным значениям этой величины.

В статье показано, что применение детерминированных моделей для описания случайных процессов приводит к погрешностям, превосходящим вычислительную точность реализующих их современных программно-вычислительных комплексов. Это происходит не только из-за расчетов по средним значениям, не учитывающим отклонения от них реальных значений моделируемых параметров, но и из-за игнорирования стохастичности реальных процессов при установлении расчетных значений параметров, используемых в этих детерминированных моделях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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; введ. 30.06.2009 г. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2009.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
3. *Милинский А. И.* Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения: дис. ... канд. техн. наук. — М. : МИСИ, 1951.
4. *Холщевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И. И.* Натурные наблюдения людских потоков. — М. : Академия ГПС МЧС РФ, 2009. — 191 с.
5. *Копылов В. А.* Исследование параметров движения людей при вынужденной эвакуации : дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. В. М. Предтеченский, М. Я. Ройтман). — М. : МИСИ, 1974. — 145 с.
6. *Холщевников В. В., Левин Ю. Н., Никонов С. А.* Расчет и моделирование движения людских потоков // Исследования по основам архитектурного проектирования (Методологические, функциональные, эстетические и физико-технические проблемы архитектуры). — Томск : Томский университет, 1983.
7. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей : учебник для вузов. — М. : Наука, 1969.
8. *Гмурман В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие для вузов. — М. : Высшая школа, 1977.
9. Теория вероятностей : учебник для вузов / Под ред. В. С. Зарубина и А. П. Крищенко. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.
10. *Предтеченский В. М., Милинский А. И.* Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. — М. : Стройиздат, 1969. — 375 с.
11. *Григорьянц Р. Г.* Исследование движения длительно существующих людских потоков : дис. ... канд. техн. наук (науч. рук. В. М. Предтеченский). — М. : МИСИ, 1971.
12. *Хейт Ф.* Математическая теория транспортных потоков. — М. : Мир, 1966.
13. *Холщевников В. В.* Статистика зависимостей между параметрами людских потоков // Исследования по основам архитектурного проектирования (Методологические, функциональные, эстетические и физико-технические проблемы архитектуры). — Томск : Томский университет, 1983. — С. 155–174.
14. *Холщевников В. В.* Моделирование зависимостей между параметрами людских потоков // Исследования по основам архитектурного проектирования (Методологические, функциональные, эстетические и физико-технические проблемы архитектуры). — Томск : Томский университет, 1983. — С. 36–53.

15. Закономерности связи между параметрами людских потоков: диплом № 24-S (автор В. В. Холщевников). — М. : РАЕН, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий, 2005. — Рег. № 348.
16. Предтеченский В. М. О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения // Архитектурно-строительное образование и научные основы проектирования. — М. : Стройиздат, 1983. — С. 69–85.
17. Научная школа. Теория людских потоков / Российская архитектурно-строительная энциклопедия. — Т. VII. — М. : ВНИИТПИ Госстроя России, 2001.
18. Предтеченский В. М. Архитектура гражданских и промышленных зданий : учебник для вузов. — М. : Стройиздат, 1966.
19. О техническом регулировании : Федер. закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ; принят Гос. Думой 15.12.2002 г.; одобрен Сов. Федерации 18.12.2002 г. // Российская газета. — 2002. — № 245.
20. Костерин И. В., Присадкин В. И., Лицкевич В. В. Вероятностная модель оценки времени блокирования эвакуационных путей при развитии пожара в зданиях с многосветными пространствами // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 12. — С. 45–48.
21. Холщевников В. В., Кудрин И. С. Обеспечение безопасной эвакуации людей с учетом стохастичности процесса распространения опасных факторов пожара в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 38–51.

Материал поступил в редакцию 25 июня 2013 г.

English

THE EFFECT OF FIELD OBSERVATION METHODS ON DETERMINING NUMERIC CHARACTERISTICS OF THE LAW OF HUMAN FLOW VELOCITY DISTRIBUTION

KHOLSHCHEVNIKOV V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Expert of Republican Research Scientific Advice Center of Examination of Russian Federation, Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail address: reglament2004@mail.ru)

ABSTRACT

The development of the methodology of process standardization (or some other descriptions) that do not yield unambiguous (determined) technical regulation requires a careful consideration for the scholastic nature of its natural dynamics especially when the lives of people depend on the values of the parameters in the systems designed for the maintenance of their safety. In fire safety standardization such processes include, first and foremost, the movement of people during evacuation and the dangerous fire factors spread that determine its timeliness ($t_{\text{RSET}} \leq t_{\text{ASET}}$) and absence of congestions ($D_i \leq D_{q,\text{max}}$).

The example of comparing visual and video methods of determining calculation values of human flow velocity has allowed to bring to light the methodological differences in establishing the laws of unknown random velocity value distribution (V_p), whose arguments are the random values of physical parameters observed in its methods: in a visual method — a probable time (Δt) with a constant length of a route section ($\Delta l_p = \text{const}$) taken in this amount of time, in video method — of a probable route length (l_p) with fixed time input ($\Delta t = \text{const}$). The following is shown:

- a visual method is a fragment of observation of time probability distribution of people entering

a cross-section described by a function $f_l(t) = \frac{1}{t^2 S_V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l/t - \bar{V})^2}{2S_V^2}}$, i. e. it is a nonlinear argument

function and does not provide an adequate picture of the law of its distribution;

- the video method fixes the probability distribution of passing various length segments of a route

by people at a fixed moment of time that is described by a function $f_t(l) = \frac{1}{t S_V \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l/t - \bar{V})^2}{2S_V^2}}$

being a linear argument function and, therefore, having identical law of distribution.

Consequently, the random value of human flow velocity has a normal distribution at all the density intervals.

With the help of the given example this article demonstrates that when we make calculations using average values of random variables in inverse proportion, the relation: (distance) = (velocity) × (time) is valid only in the case if one variable has the arithmetic mean and the other — the harmonic mean.

Keywords: human flow; evacuation; field observation methods; velocity of the human flow.

REFERENCES

1. *Methodic of determination of calculation values of fire risks in buildings, constructions and structures of different usage: Order No. 382 of Emercom of Russia on 30.06.2009*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, 2009 (in Russian).
2. *Technical regulations of Fire Safety: Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123*. Collection of laws of the Russian Federation, 2008, no. 30 (part I), art. 3579 (in Russian).
3. Milinskiy A. I. *Issledovaniye processa evakuatsii zdaniy massovogo naznacheniya: diss. kand. tekhn. nauk* [The study of evacuation process in the buildings of the mass usage. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow Engineering and Construction Institute Publ., 1951.
4. Kholshchevnikov V. V., Samoshin D. A., Isaevich I. I. *Naturnyye nablyudeniya lyudskikh potokov* [Human flow observations]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2009. 191 p.
5. Kopylov V. A. *Issledovaniye parametrov dvizheniya ludey pri vinuzhdennoy evakuatsii: diss. kand. tekhn. nauk* [The studies of parameters of the movement of a human flow in case of emergency. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow Engineering and Construction Institute Publ., 1974. 145 p.
6. Kholshchevnikov V. V., Levin Yu. N., Nikonov S. A. Raschet i modelirovaniye dvizheniya ludskikh potokov [The calculation and simulation of human flow movement]. *Issledovaniye po osnovam arkhitekturnogo proektirovaniya (Metodologicheskiye, funktsionalnyye, esteticheskiye i fiziko-tekhnicheskkiye problemy arkhitektury)* [The study in accordance with bases of architecture design (Methodological, functional, esthetic and physics-technical problems of the architecture)]. Tomsk, Tomsk University Publ., 1983.
7. Ventsel E. S. *Teoriya veroyatnostey* [The probability theory]. Moscow, Nauka Publ., 1969.
8. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [The probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1977.
9. Zarubin V. S., Krishchenko A. P. (eds.) *Teoriya veroyatnostey* [The probability theory]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2004.
10. Predtechenskiy V. M., Milinskiy A. I. *Proektirovaniye zdaniy s uchetom organizatsii dvizheniya lyudskikh potokov* [Planing for foot traffic flow in buildings]. Moscow, Stroyizdat, 1979. 375 p.
11. Grigoriaynts R. G. *Issledovaniye dvizheniya dlitelno sushchestvuyushchikh lyudskikh potokov: diss. kand. tekhn. nauk* [The study of the continuous human flow movement. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, Moscow Engineering and Construction Institute Publ., 1971.
12. Kheit F. *Matematicheskaya teoriya transportnykh potokov* [The mathematical theory of transport flows]. Moscow, Mir Publ., 1966.
13. Kholshchevnikov V. V. Statistika zavisimostey mezhdu parametrami lyudskikh potokov [The statistic of relations between human flow characteristics]. *Issledovaniye po osnovam arkhitekturnogo proektirovaniya (Metodologicheskiye, funktsionalnyye, esteticheskiye i fiziko-tekhnicheskkiye problemy arkhitektury)* [The study in accordance with bases of architecture design (Methodological, functional, esthetic and physics-technical problems of the architecture)]. Tomsk, Tomsk University Publ., 1983, pp. 155–174.
14. Kholshchevnikov V. V. Modelirovaniye zavisimostey mezhdu parametrami lyudskih potokov [The modelling of relations between human flow characteristics]. *Issledovaniye po osnovam arkhitekturnogo proektirovaniya (Metodologicheskiye, funktsionalnyye, esteticheskiye i fiziko-tekhnicheskkiye problemy arkhitektury)* [The study in accordance with bases of architecture design (Methodological, functional, esthetic and physics-technical problems of the architecture)]. Tomsk, Tomsk University Publ., 1983, pp. 36–53.

15. Kholshchevnikov V. V. *Zakonomernosti svyazi mezhdu parametrami lyudskikh potokov. Diplom № 24-S: Otkrytiye v oblasti sotsialnoy psikhologii* [Relationship between parameters of human flow. Diplom no. 24-S. Scientific discovery in the area of social psychology]. Russian Academy of Natural Sciences, International Academy of Authors of Scientific Discovery and Inventions, International Agency of Authors of Scientific Discovery, 2004.
16. Predtechenskiy V. M. O raschete dvizheniya lyudskikh potokov v zdaniyakh massovogo naznacheniya [About calculation of the human flow movement in the buildings of the mass usage]. *Arkhiturno-stroitelnoye obrazovaniye i nauchnyye osnovy proyektirovaniya* [Architectural and construction education and scientific bases of design]. Moscow, Stroyizdat, 1983, pp. 69–85.
17. *Nauchnaya shkola. Teoriya lyudskikh potokov* [Scientific school. The theory of human flow]. Russian architectural and building encyclopedia, 2001, Book VII.
18. Predtechenskiy V. M. *Arkhitectura grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniy* [Architecture of the civil and industry buildings]. Moscow, Stroyizdat, 1966.
19. About technical regulations: Law of Russian Federation on 27.12.2002 No. 184. *Rossiyskaya gazeta — Russian Newspaper*, 2002, no. 245 (in Russian).
20. Kosterin I. V., Prasadkov V. I., Litskevich V. V. Veroyatnostnaya model otsenki vremeni blokirovaniya evakuatsionnykh putey pri razvitiy pozhara v zdaniyakh s mnogosvetnymi prostranstvami [Probabilistic model of estimation of the time of evacuation routes blocking the development from atrium at the fire in public buildings]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no.12, pp. 45–48.
21. Kholshchevnikov V. V., Kudrin I. S. Obespecheniye bezopasnoy evakuatsii lyudey s uchetom stokhashtichnosti rasprostraneniya opasnykh faktorov pozhara v vysotnykh zdaniyakh [The safe evacuation with consideration of the stochastic behavior of the spread process in high-rise buildings]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and explosion safety*, 2013, vol. 21, no. 4, pp. 38–51.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА» ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Л. П. Пилюгин

Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов



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

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

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

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

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

А. И. ДУМИЛИН, главный специалист ФАУ "Главгосэкспертиза России"
(Россия, 101990, г. Москва, Фуркасовский пер., 12/5; e-mail: dumilinandrei@mail.ru)

УДК 614.842.612

ТУШЕНИЕ ПЛАМЕНИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ОХЛАЖДЕНИЕМ ИХ ПОВЕРХНОСТИ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Изучено влияние профиля температур на условия тушения. Для решения задачи рассмотрен полуограниченный массив с перемещающейся вследствие выгорания продукта поверхностью жидкости, теплоперенос в котором описывается уравнением теплопроводности.

Ключевые слова: горючая жидкость; время тушения; температура; интенсивность подачи воды; распыленная вода.

Задача о тушении пламени горючей жидкости распыленной водой при однородном начальном распределении температуры была решена в работе [1], которая в полной мере может быть отнесена к жидкостям с так называемым гомотермическим слоем [2]. Важным с практической точки зрения случаем является тушение жидкостей с экспоненциальным начальным распределением температур, которое наблюдается при горении подавляющего большинства горючих жидкостей и их проливов при аварии технологического оборудования. Настоящая работа посвящена изучению влияния профиля температур на условия тушения.

Для решения задачи рассмотрим полуограниченный массив с перемещающейся вследствие выгорания продукта поверхностью жидкости, теплоперенос в котором описывается уравнением теплопроводности [1]:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + cm \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (1)$$

где c , ρ , λ — теплоемкость, плотность и теплопроводность горючей жидкости;

T — температура;

t — время;

x — координата;

m — скорость выгорания.

Начальным условием задачи будет экспоненциальное распределение температуры внутри слоя жидкости [2]:

$$t = 0, \quad T = (T_k - T_0) e^{-\frac{mc}{\lambda}x} + T_0, \quad (2)$$

где T_k — температура кипения жидкости;

T_0 — температура жидкости на значительном расстоянии от ее поверхности.

Учитывая, что на значительном расстоянии от поверхности горючего температура жидкости равна

температуре окружающей среды, одним из граничных условий будет:

$$x = \infty, \quad T = T_0. \quad (3)$$

Другое граничное условие найдем из баланса тепловых потоков на поверхности жидкости. Для этого выделим вблизи этой поверхности элементарный объем и расположим его так, чтобы граница раздела *жидкость — газ* находилась внутри этого объема (см. рисунок). Алгебраическая сумма потоков, входящих и выходящих из рассматриваемого объема, равна количеству тепла, затрачиваемого на испарение единицы площади поверхности жидкости в единицу времени:

$$q - q_t - q_s = q_{\text{и}}, \quad (4)$$

где q — тепловой поток, передаваемый пламенем к поверхности топлива излучением и конвекцией; q_s — поток тепла, отбираемый каплями при испарении с поверхности продукта [1];

$$q_s = \omega I r; \quad (5)$$

q_t — поток, переносимый за счет теплопроводности;

$$q_t = -\lambda (\partial T / \partial x); \quad (6)$$

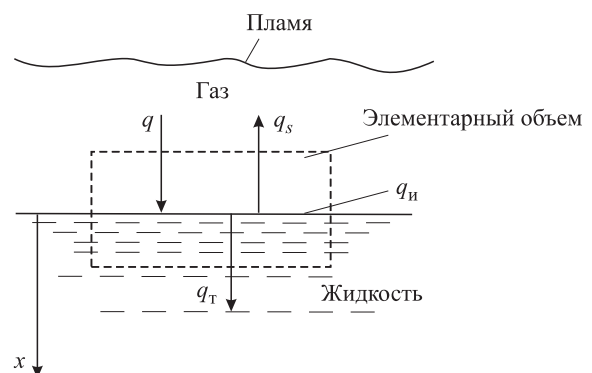


Схема тепловых потоков для элементарного объема горючей жидкости в процессе тушения

q_n — поток тепла, затрачиваемый на испарение горючей жидкости;

$$q_n = mL. \quad (7)$$

В уравнениях (5) и (7) L — теплота испарения топлива; ω — коэффициент использования воды при испарении капель с поверхности продукта; I — интенсивность орошения водой поверхности горючей жидкости; r — теплота, выделяемая при испарении воды.

Подставляя (5)–(7) в (4), получим:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q - mL - \omega Ir. \quad (8)$$

Условие (8) учитывает отбор тепла при испарении топлива и капель воды, а также теплообмен в жидкой и паровой фазах. В этом условии поток тепла q является неизвестной величиной. Для ее определения воспользуемся следующим предположением. Поскольку температура пламени на пределе тушения мало отличается от температуры горения [3, 4], то и величина потока q практически не будет меняться с момента начала тушения до его конца. Другими словами, поток тепла от пламени, передаваемый на поверхность жидкости в процессе тушения, будет такой же, как и до его начала. Следовательно, величину q можно определить из стационарного уравнения теплопроводности (1) в отсутствие подачи воды на тушение:

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + cm \frac{dT}{dx} = 0. \quad (9)$$

Так как в рассматриваемом случае испарение капель на поверхности топлива отсутствует ($I = 0$), граничным условием на этой поверхности будет:

$$x = 0, \quad -\lambda \frac{dT}{dx} = q - mL. \quad (10)$$

На другом краю полуограниченного массива граничное условие задано равенством (3).

Решением дифференциального уравнения (9) с граничными условиями (3) и (10) является функция

$$T = \frac{q - mL}{mc} e^{-\frac{mc}{\lambda}x} + T_0. \quad (11)$$

Из выражения (11) найдем поток q , положив $x = 0$ и учитывая, что для горящей жидкости температура ее поверхности близка к температуре кипения T_k [2, 5]:

$$q = mL + (T_k - T_0)mc. \quad (12)$$

Подставив (12) в (8), получим граничное условие на поверхности при тушении пламени горючей жидкости распыленной водой:

$$\lambda \frac{dT}{dx} = \omega Ir - mc(T_k - T_0). \quad (13)$$

Граничное условие (13) позволяет замкнуть систему уравнений (1)–(3) и решить сформулированную задачу тушения пламени распыленной водой при экспоненциальном начальном распределении температур в топливе. Для решения системы (1)–(3) и (13) введем безразмерные переменные:

- время

$$\tau = \frac{m^2 c}{\rho \lambda} t; \quad (14)$$

- координату

$$\xi = \frac{mc}{\lambda} x; \quad (15)$$

- температуру

$$\theta = \frac{T_k - T}{T_k - T_0}. \quad (16)$$

Переходя к безразмерным переменным, дифференциальное уравнение, начальное и граничные условия задачи запишем в виде:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + \frac{\partial \theta}{\partial \xi}; \quad (17)$$

$$\tau = 0, \quad \theta = 1 - e^{-\xi}; \quad (18)$$

$$\xi = 0, \quad -\frac{\partial \theta}{\partial \xi} = \eta - 1; \quad (19)$$

$$\xi = \infty, \quad \theta = 1, \quad (20)$$

где η — безразмерная интенсивность подачи распыленной воды;

$$\eta = \frac{Ir\omega}{cm(T_k - T_0)}. \quad (21)$$

При решении задачи с помощью интегрального теплового баланса [6, 7] граничное условие (20) на основании (18) следует заменить на

$$\xi = \Delta, \quad \theta = 1 - e^{-\Delta}, \quad (22)$$

а учитывая заданный профиль температур, добавить дополнительное условие

$$\xi = \Delta, \quad \partial \theta / \partial \xi = e^{-\Delta}, \quad (23)$$

где Δ — безразмерная глубина прогретой жидкости.

Зададим профиль изменения температур на отрезке $[0, \Delta]$ в виде уравнения

$$\theta = \beta_0 + \beta_1(\Delta - \xi) + \beta_2(\Delta - \xi)^2 + 1 - e^{-\xi}. \quad (24)$$

Определяя коэффициенты уравнения (24) с помощью граничных условий (19), (22) и (23), находим, что $\beta_0 = 0$, $\beta_1 = 0$, а

$$\beta_2 = \eta / (2\Delta). \quad (25)$$

Тогда распределение температур в топливе запишем в виде уравнения

$$\theta = \frac{\eta}{2\Delta} (\Delta - \xi)^2 + 1 - e^{-\xi}. \quad (26)$$

Интегрируя (17) в пределах прогретого слоя и учитывая, что его глубина Δ зависит от времени, получим уравнение для интегрального теплового баланса [8]:

$$\frac{d}{d\tau} \int_0^{\Delta} \theta d\xi - \theta(\tau, \Delta) \frac{d\Delta}{d\tau} = \frac{\partial \theta}{\partial \xi}(\tau, \Delta) - \frac{\partial \theta}{\partial \xi}(\tau, 0) + \theta(\tau, \Delta) - \theta(\tau, 0). \quad (27)$$

Подставляя в (27) граничные условия (19), (22) и (23), приходим к выражению

$$\frac{d}{d\tau} \int_0^{\Delta} \theta d\xi - (1 - e^{-\Delta}) \frac{d\Delta}{d\tau} = \eta \left(1 - \frac{\Delta}{2} \right). \quad (28)$$

С помощью (26) вычислим интеграл в (28) и затем продифференцируем полученное выражение по времени:

$$\frac{d}{d\tau} \int_0^{\Delta} \theta d\xi = (1 - e^{-\Delta}) \frac{d\Delta}{d\tau} + \frac{\eta \Delta}{3} \frac{d\Delta}{d\tau}. \quad (29)$$

Если подставить уравнение (29) в выражение (28), то получим:

$$\int_0^{\Delta} \frac{\Delta}{2 - \Delta} d\Delta = \frac{3}{2} \tau. \quad (30)$$

После интегрирования найдем связь глубины прогрева и времени:

$$\Delta + 2 \ln \frac{2 - \Delta}{2} = -\frac{3}{2} \tau. \quad (31)$$

Зависимость температуры поверхности топлива от глубины прогрева жидкости получим, принимая в уравнении (26) $\xi = 0$:

$$\Delta = 2\theta/\eta. \quad (32)$$

С учетом того что времени наступления тушения пламени соответствует понижение температуры поверхности до θ_{τ} , подставим уравнение (32) в (31) и найдем зависимость времени тушения пламени горючей жидкости от интенсивности орошения η при экспоненциальном начальном распределении температур в топливе:

$$\tau = -\frac{4}{3} \left[\frac{\theta_{\tau}}{\eta} + \ln \left(1 - \frac{\theta_{\tau}}{\eta} \right) \right], \quad (33)$$

где

$$\theta_{\tau} = \frac{T_{\kappa} - T_{\tau}}{T_{\kappa} - T_0}. \quad (34)$$

Из уравнения (33) видно, что при $\tau \rightarrow \infty$

$$\theta_{\tau} = \eta. \quad (35)$$

Соотношение (35) определяет критическое состояние процесса тушения пламени, при котором подаваемый поток воды не в состоянии ликвидировать пламя. Соответствующая этому состоянию интенсивность подачи воды равна критическому значению $I_{\text{кр}}$.

Подставим в соотношение (35) обозначения из (21), (34) и, учитывая, что при выполнении условия (35) $I = I_{\text{кр}}$, получим:

$$I_{\text{кр}} = \frac{cm(T_{\kappa} - T_{\tau})}{\omega r}. \quad (36)$$

Переходя к размерным переменным, с учетом соотношений (34), (21), (14) и (36) уравнение (33) перепишем в виде

$$t = -\frac{4}{3} \frac{\lambda \rho}{cm^2} \left[\frac{I_{\text{кр}}}{I} + \ln \left(1 - \frac{I_{\text{кр}}}{I} \right) \right]. \quad (37)$$

Сравнивая формулу (37) с выражением (34), полученным для равномерного профиля температур в работе [1], видим, что они полностью совпадают. Следовательно, связь времени тушения с интенсивностью орошения горючей жидкости распыленной водой не зависит от начального распределения температур в жидкости.

Полученный результат имеет принципиальное значение, так как позволяет при проведении экспериментов и обработке опытных данных не принимать во внимание профиль температур, существующий в жидкости до момента подачи воды на тушение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Думилин А. И. Параметры тушения пламени горючих жидкостей распыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 4. — С. 85–90.
2. Блинов В. И., Худяков Г. Н. Диффузионное горение жидкостей. — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 208 с.
3. Зельдович Я. Б., Баренблатт Г. И., Либрович Г. И., Махвиладзе Г. М. Математическая теория горения и взрыва. — М.: Наука, 1980. — 479 с.
4. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М.: Наука, 1987. — 492 с.
5. Сполдинг Д. Б. Основы теории горения. — М.: Госэнергоиздат, 1959. — 319 с.
6. Goodman T. R. J. The heat-balance integral and its application to problems involving a change of phase // Trans. Am. Mech. Eng. — 1958. — Vol. 80. — P. 335–342.

7. Гудмен Т. Р. Дж. Применение интегральных методов в нелинейных задачах нестационарного теплообмена // Проблемы теплообмена. — М. : Атомиздат, 1967. — С. 4–96.
8. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. — М. : Главиздат, 1953. — 608 с.

Материал поступил в редакцию 29 апреля 2013 г.

English

SUPPRESSION OF THE FLAME OF COMBUSTIBLE LIQUIDS BY WATER SPRAY COOLING OF THEIR SURFACE

DUMILIN A. I., Senior Specialist, Federal Autonomous Institutions
"Office of State Examination" (FAA "Glavgosexpertiza Russia")
(Furkasovskiy Ln., 12/5, Moscow, 101990, Russian Federation;
e-mail address: dumilinandrei@mail.ru)

ABSTRACT

The problem of suppression of combustible liquids flame by cooling of a fuel surface layer up to the temperature when flame is extinguished is considered.

The theoretical model is based on decision of the heat conductivity equation considering burn-out of liquid which surface is cooling by sprayed water in conditions of exponential initial distribution of temperature in a fuel layer.

The boundary condition on a liquid surface is received from thermal streams balance on the interphase boundary.

Due to the fact that the volume of thermal stream falling on a surface from flame is unknown, volume of this stream is found from the differential equation solution describing the stationary distribution of a temperature in a fuel layer. The assumption about approximate equality of a stream, conforming to stationary burning, to a heat stream on a flame extinction limit is used in calculations.

The received boundary condition allows to close the equations system describing suppression of a flame and to solve the formulated task at exponential initial distribution of temperatures.

The task is solved by an integrated thermal balance method allowing establishing dependence of a flame suppression time on intensity of supply of the sprayed water. The founded approximate solution contains only elementary functions and make obtained experimental data easy to interpret.

Keywords: flammable liquid; suppression time; temperature; water supply intensity; sprayed water.

REFERENCES

1. Dumilin A. I. Parametry tusheniya plameni goryuchikh zhidkostey raspylennoy vodoy [Factors of extinguishing of the flame of combustible liquids by sprayed water]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 4, pp. 85–90.
2. Blinov V. I., Khudyakov G. N. *Diffuzionnoye goreniye zhidkostey* [Diffusion combustion of liquids]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1961. 208 p.
3. Zeldovich Ya. B., Barenblatt G. I., Librovich G. I., Makhviladze G. M. *Matematicheskaya teoriya goreniya i vzryva* [Mathematical theory of burning and explosion]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 479 p.
4. Frank-Kamenetskiy D. A. *Diffuziya i teploperedacha v khimicheskoy kinetike* [Diffusion and heat transfer in chemical kinetics]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 492 p.
5. Spolding D. B. *Osnovy teorii goreniya* [Foundation of the theory of burning]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1959. 319 p.
6. Goodman T. R. J. The heat-balance integral and its application to problems involving a change of phase. *Trans. Am. Mech. Eng.*, 1958, vol. 80, pp. 335–342.
7. Goodman T. R. J. *Primeneniye integralnykh metodov v nelineynykh zadachakh nestatsionarnogo teploobmena* [Application of integral methods in nonlinear problems of unsteady heat transfer]. *Problemy teploobmena* [Problems of heat transfer]. Moscow, Atomizdat, 1967, pp. 4–96.
8. Bronshtein I. N., Semendiyev K. A. *Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vtuzov* [The mathematical handbook for engineers and pupils of technical colleges]. Moscow, Glavizdat Publ., 1953. 608 p.

**ВОПРОС:**

При рассмотрении задач в области молниезащиты объектов со взрывоопасными технологиями в нормативных документах имеются различия относительно размеров взрывоопасных зон, образующихся над технологическими аппаратами, в частности дыхательными клапанами резервуаров для хранения нефтепродуктов. Какие документы наиболее точно описывают выбор классов и дают оценку размеров взрывоопасных зон?

ОТВЕТ:

Выбор классов и оценка размеров взрывоопасных зон газовых сред осуществляются по действующим нормативным документам, в частности по ГОСТ ИЕС 60079-10-1-2011 [1]. В данном документе приводятся конкретные примеры распределения классов взрывоопасных зон вокруг резервуара с горючей жидкостью и указываются размеры этих зон с учетом особенностей вентиляции, степени утечки и характеристик самой горючей жидкости (см. приложение С, пример № 8 [1]). Форма образующейся взрывоопасной зоны класса 1 у выпускного отверстия дыхательного клапана представляет собой полушарие радиусом 3 м при предлагаемых в ГОСТе [1] условиях образования взрывоопасной смеси (рис. 1). Взрывоопасная зона класса 2 вблизи дыхательного клапана принимает форму цилиндра высотой 3 м. Следовательно, при проектировании устройства молниезащиты данного резервуара необходимо принимать во внимание образующуюся взрывоопасную зону вокруг дыхательного клапана, форма и размеры которой влияют на выбор и размеры устройства молниеотвода.

С другой стороны, в соответствии с действующей инструкцией по устройству молниезащиты зданий и сооружений [2] при защите объектов молниезащиты необходимо также предусматривать молниезащиту дыхательных клапанов и пространства над ними, ограниченного цилиндром высотой 2,5 м и радиусом 5 м. С учетом этого форма и размеры защищаемой

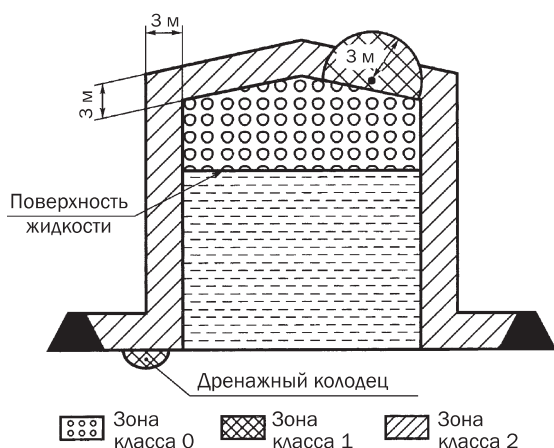


Рис. 1. Пример распределения классов взрывоопасных зон на резервуаре для хранения горючей жидкости с неподвижной крышей

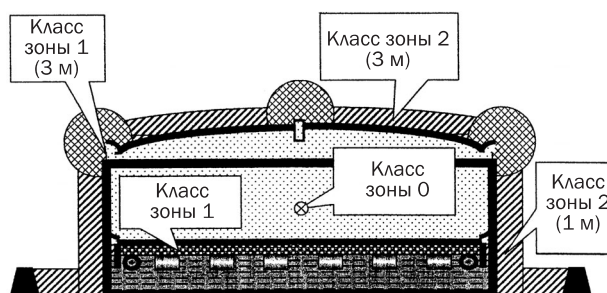


Рис. 2. Пример распределения классов взрывоопасных зон и их размеров для резервуара повышенной пожарной безопасности с понтоном на поплавках

взрывоопасной зоны над дыхательным клапаном будут отличаться от формы и размеров зон, указанных в ГОСТе [1].

Сравнивая оба варианта построения защищаемых взрывоопасных зон, стоит отметить, что наиболее реалистичная форма образующейся над дыхательным клапаном взрывоопасной зоны представлена в ГОСТе [1]. Важным параметром при проектировании молниезащиты резервуаров является высота защищаемого пространства над дыхательным клапаном. В ГОСТе [1] этот параметр принят с большим значением, нежели в инструкции [2]. Поэтому при проектировании устройства молниезащиты резервуаров правильнее пользоваться примерами построения взрывоопасных зон, указанных в ГОСТе [1].

В качестве примера стоит отметить, что по результатам анализа взрыва резервуара повышенной пожарной безопасности конструкции США на одном из нефтеперерабатывающих комбинатов России экспертами было предложено распределение классов взрывоопасных зон и их размеров для резервуара с понтоном на поплавках (рис. 2). Как видно из рис. 2, местоположение, размеры и классы взрывоопасных зон близки к зонам, представленным на рис. 1. Поэтому общие принципы построения взрывоопасных зон вокруг резервуаров для хранения нефтепродуктов остаются схожими даже при различии конструктивных особенностей резервуаров и различий технологических процессов их работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

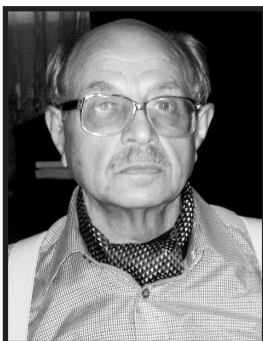
1. ГОСТ ИЕС 60079-10-1-2011. Взрывоопасные среды. Часть 10-1. Классификация зон. Взрывоопасные газовые среды. — Введ. 15.02.2013 г. — М.: Стандартинформ, 2013.
2. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений: утв. Главтехуправлением Минэнерго СССР 12.10.87 г.; введ. 12.10.87 г. — М.: Энергоатомиздат, 1989.

Ответ подготовили сотрудники кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России: канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ **В. Н. ЧЕРКАСОВ**; старший преподаватель **А. С. ХАРЛАМЕНКОВ**

Уважаемые коллеги!

С прискорбием сообщаем, что в июле не стало двух специалистов, внесших значительный вклад в развитие области пожарной безопасности.

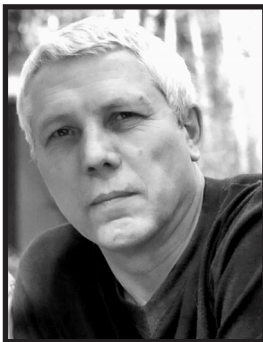
КЛИМУШИН Николай Григорьевич



17 июля 2013 года на 78-м году жизни скончался старший преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, полковник внутренней службы в отставке Николай Григорьевич Климушин.

Николай Григорьевич был одним из наших постоянных авторов. Его статьи всегда находили отклик у читателей. Кроме этого, Николай Григорьевич принимал активное участие в различных научных конференциях, а также общался с читателями в рубрике “Вопрос – Ответ”.

НЕНАХОВ Станислав Андреевич



8 июля 2013 года на 67-м году жизни скончался специалист в области огнезащиты, ведущий научный сотрудник НПП “Теплохим» Станислав Андреевич Ненахов.

Станиславом Андреевичем было опубликовано более 60 работ в области огнезащиты в составе НПП “Теплохим”. В своих работах он исследовал проблемы терминологии в области огнезащиты, свойства различных огнезащитных покрытий. Станислав Андреевич был постоянным участником специализированных конференций. По словам коллег, они понесли невосполнимую утрату.

Станислав Андреевич часто публиковал свои работы и в журнале “Пожаровзрывобезопасность”. Редакция журнала с глубоким сожалением прощается с замечательным автором, строгим, но справедливым рецензентом.

Николай Григорьевич Климушин и Станислав Андреевич Ненахов внесли значительный вклад в копилку знаний мирового научного сообщества, и мы очень гордимся тем, что нам довелось работать с такими высококвалифицированными специалистами.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны представлять собой 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 неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия; не должен также использоваться неперебиваемый 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 транслитерация). 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, 119526 Moscow, 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 (должно излагать существенные факты и результаты работы и не должно преувеличивать или включать материал, который отсутствует в основной части публикации);

■ структурированным (следовать логике описания результатов в публикации);

■ “англоязычным” (написано качественным английским языком; необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т. е. “The study tested”, но не “It was tested in this study”);

■ объем текста авторского резюме должен быть не менее 100–250 слов.

Приветствуется структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи; метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в работе.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

Текст должен быть связным, излагаемые положения должны логично вытекать один из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, применяют в исключительных случаях или дают 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 dizaina gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaistvo — 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 продолжающегося издания (сборника трудов):

Astakhov M. V., Tagantsev T. V. Eksperimental'noe issledovanie prochnosti soedinenii "stal"—kompozit [Experimental study of the strength of joints "steel-composite"]. *Trudy MG TU "Matematicheskoe modelirovanie 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., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya 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. *Poslednee pravitel'stvo 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, Mashinostroenie 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. *Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyi tor*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Moscow, 2003. 272 p.

ГОСТы:

GOST 8.586.5–2005. *Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichstva zhidkostei i gazov s pomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroistv* [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.

или

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 orientirovaniia po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoi golovkoi samonavedeniia* [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF, no. 2280590, 2006.

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

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

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

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

6. К статьям, авторами которых являются соискатели ученых степеней, следует прилагать рецензию, которая должна быть подписана рецензентом из сторонней организации (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью.

7. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

8. Плата с аспирантов за публикацию работ не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

20-я международная выставка и конференция

ОХРАНА, БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА



Mips

OSCOW

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



101010010111110101010010101010
0000101111101010100101010100101111101010100101010
001011111101010100101010101010010100101111101010010101010
101010101001010101010101010101001000010111110101001010101010
0011101010100100010101010101010101010010000010111110101001010101001010111101010011001010101010
000001011111101010101010101010010100101111101010010101010
100100101010101010101010101010010000101111101010010010100101001010111101010100101010



РЕКЛАМА

Охранное
телевидение
и наблюдение

Технические
средства
обеспечения
безопасности

Пожарная
безопасность.
Аварийно-
спасательная
техника.
Охрана труда

Защита информации.
Смарт карты.
ID-Технологии.
Банковское
оборудование



Организатор



Тел.: +7 495 628 7883
Факс: +7 495 628 7884
Сайт: www.ite.ru

Помощники



МВД России

www.mips.ru

- 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 АСЕЕВА Р. М., СЕРКОВ Б. Б., СИВЕНКОВ А. Б. **Горение древесины и ее пожароопасные свойства**: монография. — 2011. — 262 с. — ISBN 978-5-9229-0045-4. Цена — 350 руб.
- 5 БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Моделирование пожаров и взрывов**. — 2000. — 492 с. Цена — 540 руб.
- 6 ГОРБАНЬ Ю. И. **Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране**. — 2013. — 352 с.: ил. — ISBN 978-591444-023-8. Цена — 450 руб.
- 7 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я. **Процессы горения и взрыва**: учебник. — 2007. — 266 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-001-2. Цена — 450 руб.
- 8 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., ЗАГОРСКИЙ Д. О. **Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности**. — 2010. — 118 с. — ISBN 978-5-91444-015-9. Цена — 250 руб.
- 9 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие. — 2011. — 320 с. — ISBN 978-591444-021-X. Цена — 350 руб.
- 10 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО Д. А. **Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума**: учебное пособие [Электронная версия]. — 2011. Цена — 300 руб.
- 11 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огнезащиты**. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил. — ISBN 978-5-91444-010-4. Цена — 540 руб.
- 12 КОРОЛЬЧЕНКО А. Я., КОРОЛЬЧЕНКО О. Н. **Средства огне- и биозащиты**. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с. БЕСПЛАТНО.
- 13 КОРОЛЬЧЕНКО Д. А., ГРОМОВОЙ В. Ю. **Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение**. — 2010. — 94 с. — ISBN 978-5-91444-014-02. Цена — 140 руб.
- 14 ПИЛЮГИН Л. П. **Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций**. — 2000. — 224 с.: ил. — ISBN 5-901283-03-1. Цена — 240 руб.
- 15 ПИЛЮГИН Л. П. **Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов**. — 2010. — 380 с. — ISBN 978-5-91444-016-6. Цена — 450 руб.
- 16 СМЕЛКОВ Г. И., ЧЕРКАСОВ В. Н., ВЕРЕВКИН В. Н., ПЕХОТИКОВ В. А., РЯБИКОВ А. И. **Электроустановки во взрывопожароопасных зонах**: справочное пособие. — 2012. — 222 с. — ISBN 978-5-91444-022-X. Цена — 300 руб.
- 17 ЧЕРКАСОВ В. Н., ЗЫКОВ В. И. **Обеспечение пожарной безопасности электроустановок**: учебное пособие. — 2010. — 406 с. — ISBN 978-5-91444-020-3. Цена — 470 руб.

СУПЕРСКИДКИ

- 1 СОБУРЬ С. В. **Заполнение проемов в противопожарных преградах**: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с. — ISBN 5-98629-005-4. Цена — 90 руб.
- 2 СОБУРЬ С. В. **Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий**: справочник. — 2005. — 88 с. — ISBN 5-98629-004-6. Цена — 36 руб.
- 3 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ГРАЧЕВ В. А. **Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро**: учебное пособие. — 2007. — 383 с. — ISBN 5-903049-09-5. Цена — 220 руб.
- 4 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Леса, торфяники, лесосклады**. — 2007. — 358 с. — ISBN 5-903049-12-5. Цена — 220 руб.
- 5 ТЕРЕБНЕВ В. В., АРТЕМЬЕВ Н. С., ПОДГРУШНЫЙ А. В. **Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов**: учебное пособие. — 2007. — 325 с. — ISBN 5-903049-11-7. Цена — 220 руб.

■ Адрес: 121352, г. Москва, а/я 43. Заказ книг: тел.: (495) 228-09-03, 8-909-940-01-85; e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru; www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

- В бланке заказа на приобретение книг просьба указать:
- 1) название организации полностью;
 - 2) реквизиты (ИНН/КПП обязательно);
 - 3) наименование и количество заказываемой литературы;
 - 4) почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо;
 - 5) способ доставки: самовывоз или почтовая.

■ **ВНИМАНИЕ!!!** Цены указаны без стоимости доставки, которая составляет 25 % стоимости заказа.

■ **Постоянным покупателям предоставляются скидки!**

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

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

Издательство “Пожнаука” предлагает Вам оформить подписку на журнал “Пожаровзрывобезопасность” на 2-е полугодие 2013 г.

**Подписка на полугодие включает в себя
шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность”.
Стоимость полугодовой подписки составляет 4950 руб. (НДС — 0 %).**



**ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА
на журнал**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-
БЕЗОПАСНОСТЬ**



ISSN 0869-7493

КУПОН '2013

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Журнал “Пожаровзрывобезопасность” (2-е полугодие 2013 г.)	4950		

- ☐ Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо.
В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим прислать также карточку Вашей организации. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- ☐ Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по e-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru в отдел распространения.
- ☐ Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121352, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810400000000555
БИК 044525555
Главный редактор — Корольченко Александр Яковлевич

**По вопросам подписки просьба обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 8-909-940-01-85**

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

через ООО “Издательство “Пожнаука”;
через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;
через агентство “АПР”, индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге
“Газеты и журналы”);

через подписные агентства:
ООО “Интер-Почта 2003”, ООО “ИНТЕР-ПОЧТА-РЕГИОН”,
ООО “Урал-Пресс XXI”, ООО “Информнаука”,
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”



БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ КОНКУРС «ЭТАЛОН БЕЗОПАСНОСТИ»
ТЕХНОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ В РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
ДЕНЬ МОНТАЖНИКА И ПРОЕКТИРОВЩИКА
БЕЗОПАСНОСТЬ БОЛЬШОГО ГОРОДА
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КРУПНЫХ ОБЪЕКТОВ
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. НЕВСКИЙ ДИАЛОГ

Здесь определяется вектор безопасности

**12-15
НОЯБРЯ
2013**

Место проведения:
Санкт-Петербург, Ленэкспо



SfiteX

St. Petersburg International Security & Fire Exhibition



IS.CS

4-я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
ИНФОРМАЦИЯ, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ



ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА
СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ
22-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Получите электронный
билет на сайте:

www.sfitex.ru

Организатор: +7 (812) 380 6009/00, SECURITY@PRIMEXPO.RU

Генеральный интернет партнер: Медиа-партнер: Информационная поддержка:

РЕКЛАМА