

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

8'2011

Исследование факторов, влияющих
на управление пожарными подразделениями
при тушении пожаров в помещениях

Фосфорный пожар (Ожидов, Украина): уроки
и новый подход к управлению рисками
возникновения пожаров и возгораний

Исследование горения мотоциклов



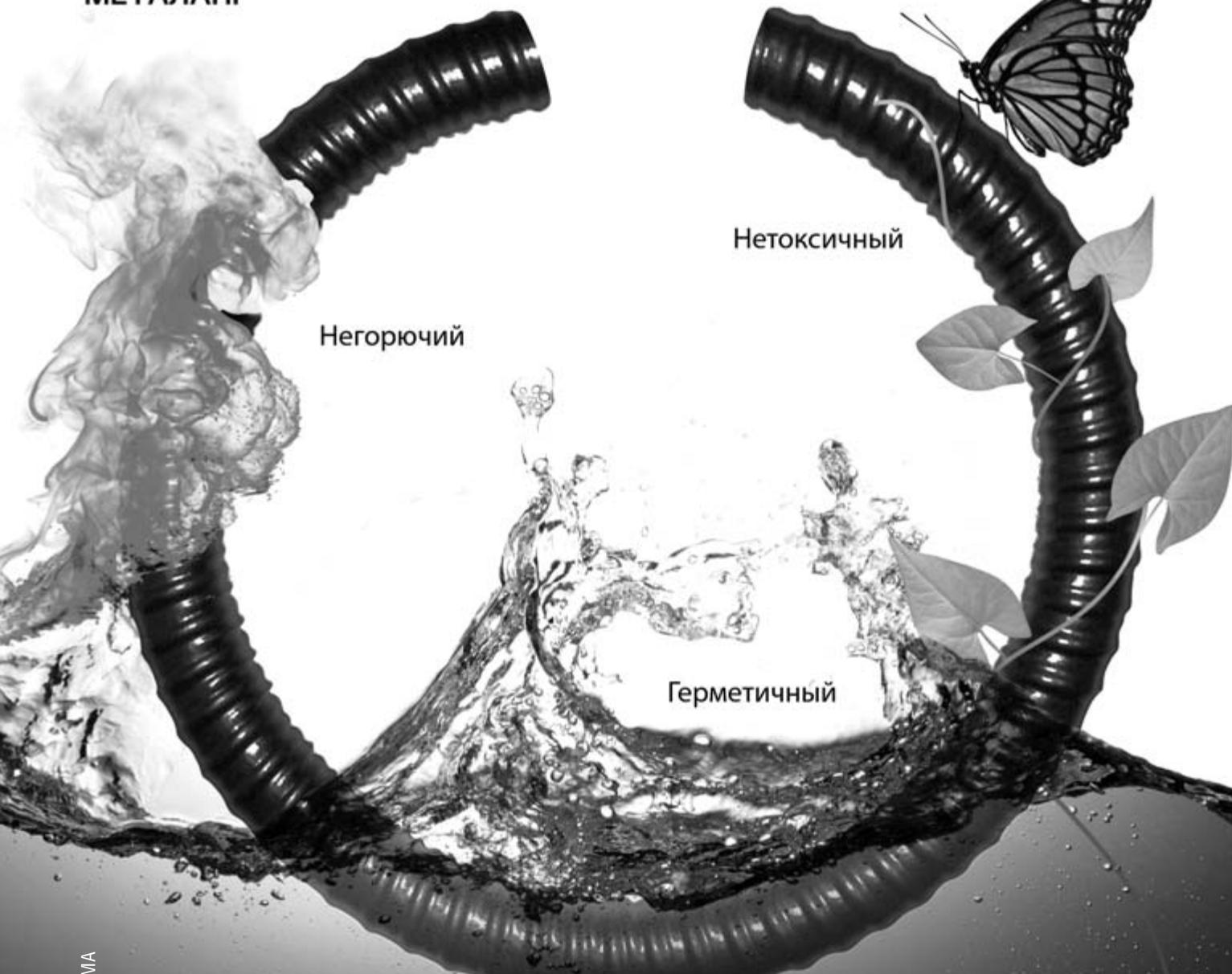
Описание развития пожара с помощью
перколяционной модели

Динамика вспенивания огнезащитных
покрытий на основе органо-неорганических
составов

Математическое моделирование зажигания
слоя лесного горючего материала
сфокусированным потоком солнечного
излучения



Металлополимерный рукав МЕТАЛАНГ НГ-LS HF



РЕКЛАМА

Металлорукав МЕТАЛАНГ НГ-LS HF с защитной полимерной оболочкой

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

Сфера применения:

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

ПОЖИЗНАУКА Издательство

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, вслучивающиеся 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.

**Внимание!!!
Распространяется
БЕСПЛАТНО!!!**

www.firepress.ru

По вопросам оформления заявки на бесплатное получение справочника просьба обращаться по тел.: (495) 228-09-03 (многоканальный) или по e-mail: mail@firepress.ru

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 20 • № 8 • 2011 FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

The Journal of the Russian Association
for Fire Safety Science ("Pozhnauka")

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

- Гюмджян П. П., Коканин С. В., Пискунов А. А.** О пожароопасности полистирольных пенопластов строительного назначения
- Рудаков О. Б., Калач А. В., Черепахин А. М., Исаев А. А.** Пожарная опасность бинарных органических растворителей для жидкостной хроматографии

ОГНЕЗАЩИТА

- Балакин В. М., Гарифуллин Д. Ш., Ислентьев С. В.** Азотфосфорсодержащие огнезащитные составы на основе продуктов аминолиза полиуретанов
- Ненахов С. А., Пименова В. П.** Динамика вспенивания огнезащитных покрытий на основе органо-неорганических составов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

- Абдулалиев Ф. А., Моторыгин Ю. Д.** Описание развития пожара с помощью переколяционной модели
- Барановский Н. В.** Математическое моделирование зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

- Ощаповский В. В., Коваль М. С., Микус А. Л.** Фосфорный пожар (Ожидов, Украина): уроки и новый подход к управлению рисками возникновения пожаров и возгораний
- Есин В. М., Нгуен С. Х.** Исследование горения мотоциклов

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

- Денисов А. Н., Лукьянченко А. А., Соколов А. В., Григорьев А. Н.** Исследование факторов, влияющих на управление пожарными подразделениями при тушении пожаров в помещениях

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

CONTENTS

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

- Guyumdzhyan P. P., Kokanin S. V., Piskunov A. A.** About Fire Danger of Styrene Polyfoams of Building Appointment
- Rudakov O. B., Kalach A. V., Cherepakhin A. M., Isaev A. A.** Fire Danger of Binary Organic Solvents for Liquid Chromatography

FIRE RETARDANCE

- Balakin V. M., Garifullin D. Sh., Islentyev S. V.** Nitrogenphosphorous-Bearing Fire-Retardant Compositions on the Basis of Aminolysis Products of Polyurethanes
- Nenakhov S. A., Pimenova V. P.** Dynamics of Foaming of Fire Protection Coatings Based on Organic-Inorganic Compositions

FIRE MODELING

- Abdulaliev F. A., Motorygin Yu. D.** Percolation Model of Fire Development
- Baranovskiy N. V.** Mathematical Simulation of Forest Fuel Layer Ignition by Focused Flow of Sunlight

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

- Oshchyapovskiy V. V., Koval M. S., Mirus A. L.** Phosphoric Fire (Ozhydov, Ukraine): Lessons and New Approach to the Management Risks of Fires and Burnings Origin
- Yesin V. M., Nguyen X. H.** Motorcycles Burning Investigation

FIRE EXTINGUISHING

- Denisov A. N., Lukjanchenko A. A., Sokolov A. V., Grigoriev A. N.** Investigation of Factors Affecting the Management of the Fire Brigade When Extinguishing Fire in the Premises

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY. REFERENCE BOOK

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ РАН.
Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory".

Перепечатка материалов только по согласованию с редакцией. Авторы несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати



П. П. Гюмджян

д-р техн. наук, профессор, профессор Ивановского института ГПС МЧС РФ, г. Иваново, Россия



С. В. Коканин

преподаватель Ивановского института ГПС МЧС РФ, г. Иваново, Россия



А. А. Пискунов

канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры Ивановского института ГПС МЧС РФ, г. Иваново, Россия

УДК 691.17:699.81

О ПОЖАРООПАСНОСТИ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Изложены теоретические сведения о воспламенении и горении стирольных пенопластов, широко применяемых как для наружной, так и для внутренней отделки зданий и сооружений. Описан процесс окислительной деструкции ячеистой структуры пенополистирола под действием высоких температур. Приведены результаты экспериментальных исследований горения пенополистирольных материалов. На основании анализа литературных источников и представленных экспериментальных данных сделан вывод, что пенополистирол обладает высокой степенью пожароопасности.

Ключевые слова: пенополистирол; строительство; теплоизоляция; пожароопасность; токсичность; окислительная деструкция; горение.

Введение

Полимерные пены широко используются в различных областях современной жизни. Превосходные эксплуатационные характеристики пенопластов наряду с их низкой полимероемкостью и разнообразием форм и типов вызывают высокий интерес к этому виду материалов.

Полимерные пены — это сложные гетерофазные системы с большой площадью поверхности. Определенные особенности ячеистой структуры наряду с химической природой полимерной матрицы и дисперсной фазы определяют физико-механические характеристики этих материалов, включая их стойкость к воздействию пламени. Подавляющее большинство полимерных органических материалов — горючие вещества, представляющие повышенную опасность вследствие их широкого использования [1].

Большинство пожаров происходит там, где обычно сконцентрированы полимерные материалы: в зданиях и сооружениях, а также на транспорте [2]. Снижение ущерба от пожаров непосредственно связано с уровнем противопожарной защиты. При этом важной мерой является оценка пожароопасности полимерных материалов, их рациональное приме-

нение и разработка малодымных нетоксичных продуктов с более низкой горючестью [1].

В данной статье рассмотрены вопросы воспламенения и горения стирольных пенопластов.

Применение пенополистирола в строительстве

Полистирольный пенопласт, или пенополистирол (ППС), используется как для наружной, так и для внутренней отделки зданий и сооружений. Для достижения оптимальных условий эксплуатации наружную изоляцию, выполненную из пенополистирола, защищают от атмосферных воздействий, армируя штукатуркой или вентилируемой облицовочной оболочкой. Широко применяется полистирол и в качестве теплоизоляции межэтажных перекрытий, крыш и фундаментов, а также для устройства несъемной опалубки.

Изделия из пенополистирола обладают высокой энергоэффективностью, ухудшающейся в процессе эксплуатации за счет деструкции самого материала и под воздействием внешних факторов [3]. Однако одним из главных его недостатков является высокая пожароопасность и токсичность. Актуальность исследований поведения данного материала в услови-

© Гюмджян П. П., Коканин С. В., Пискунов А. А., 2011

ях чрезвычайных ситуаций не вызывает сомнений. В резолюции, составленной по итогам круглого стола РААСН “Проблемы и перспективы применения пенополистирола в строительстве” (г. Москва, 2011), было рекомендовано провести глубокие исследования свойств материала, первостепенным из которых является пожароопасность, в том числе токсичность продуктов горения, и применяемых для его производства химических компонентов с целью разработки требований к его использованию в стройиндустрии [4–6].

Горение пенополистирола

Пенополистирол относится к синтетическим материалам, которые характеризуются повышенной горючестью. Он способен сохранять энергию от внешнего источника тепла в поверхностных слоях [1]. В результате он быстро воспламеняется и распространяет огонь, инициируя усиление пожара. Ячеистая структура материала обуславливает его способность к плавлению, которое характеризуется большой продолжительностью и скрытым характером [1].

При оценке уровня пожароопасности плавление необходимо учитывать в первую очередь, потому что его продукты сгорания являются высокотоксичными. Процесс плавления трудно обнаружить внутри материала и принять соответствующие меры для его подавления, что приводит к повторному возгоранию.

Открытопористая структура пенополистирола ускоряет прохождение горячих газов через открытые каналы полимерной матрицы, а его деструкция, развивающаяся под действием внутренних и внешних факторов, способствует этому процессу [3].

Во время горения процесс окисления начинается при определенных условиях, которые связаны с энергетической системой и теплообменом со средой. Они возникают, как только скорость выделения тепла превысит скорость его отвода из зоны реакции. Если теплопотери не превышают критического уровня, то условия для окислительного процесса будут благоприятными.

Горение пенополистирола в воздушной среде происходит за счет газовой фазы или по гетерогенному механизму [1]. В пористой структуре пенополистирола содержится большое количество воздуха, однако его объем недостаточен для полного сгорания полимера. Для полного сгорания в воздухе 1 м³ пенополистирола он должен иметь плотность 100 г/м³ [7]. В случае гетерогенного горения стабильный процесс возможен только при соотношении воздуха и топлива, равном нескольким процентам от стехиометрического соотношения [8].

Таким образом, изменение условий, таких как температура и концентрация кислорода, его давление на поверхности полимерной матрицы, будет влиять на процесс окислительной реакции стирольных пенопластов.

Экспериментальные исследования горения пенополистирола

Исследования показывают, что при нагревании полистирола до температуры 400 °C происходит его деполимеризация (табл. 1) [9].

Как видно из данных табл. 1, основным продуктом разложения пенополистирола является жидккая фаза; газообразные же продукты разложения составляют лишь незначительную часть [9].

Согласно исследованиям ФГУ ВНИИПО МЧС России [10] сопоставление основных результатов оценки горючести материалов из пенополистирола стандартными методами испытаний позволяет сделать вывод о том, что все ППС относятся к горючим материалам и имеют высокую теплоту сгорания (более 39 МДж/кг) [11]. При испытании по ГОСТ 12.1.044–89* потери массы Δm пенополистирола практически составляют 100 % масс. [10]. Газообразные продукты его горения имеют достаточно высокую температуру T_{max} , которая достигается за сравнительно небольшое время $\tau_{T_{max}}$. Кислородный индекс ППС имеет достаточно низкое значение (менее 20 %) (табл. 2).

Линейная скорость распространения огня по поверхности пенополистирола составляет 1 см/с, что объясняет чрезвычайно высокую скорость распространения огня в зданиях, в которых для утепления применяется пенополистирол (см. рисунок). Удельная массовая скорость выгорания пенополистирола марки ПСБ — 2,19 кг/(мин·м²).

Вследствие большой скорости горения пенополистирола и высокой удельной теплоты его сгорания теплота высвобождается при пиковой температуре 1500 °C за относительно малое время. Согласно опытным данным [12] спустя 2 мин с начала горения пе-

Таблица 1. Состав продуктов разложения полистирола

Температура, °C	Масса навески материала, г	Количество сконденсированной жидкой фракции		Количество газов и паров, % масс.
		г	%	
300	13,3			В течение 20 мин потеря массы менее 2 %
400	9,0	7,51	83,4	—
500	15,3	14,96	97,6	0,29
600	14,45	13,79	95,4	3,0
700	19,73	19,17	97,4	1,6
800	19,72	19,23	97,4	2,1

Таблица 2. Данные оценки горючести пенополистирольных утеплителей различных типов, полученные в экспериментах по ГОСТ 12.1.044–89* и ГОСТ 30244–94

Материал	Теплота сгорания, МДж/кг	ГОСТ 12.1.044–89*			ГОСТ 30244–94				
		Δm , %	T_{\max} , °C	$\tau_{T \max}$, с	T , °C	Степень повреждения по длине, %	Δm , %	Время самостоятельного горения, с	Наличие горящих капель
ПСБ	41,6	99,7	640	50	170	100	86	...	±
ПСБ-С	41,2	99	610	54	120	85	48	...	—
ЭППС	...	95	660	80	...	...	...	...	...
WALLMATE	...	96	650	55	...	...	...	...	...
STYROFOAM	40,3	...	...	...	148	42	29	10	+
STYRODUR	...	97	675	53	...	...	...	...	...
Пеноплекс	39,4	98	648	80	90	38	15	...	+

П р и м е ч а н и е . Многоточие означает, что показатели не определены или отсутствуют в справочной литературе.

ннополистирола достигается температура 1200 °C. При этом горение сопровождается обильным выделением (267 м³/м³) густого черного дыма.

Согласно исследованиям ФГУ ВНИИПО МЧС России во время испытания материала, например из экструдированного полистирола, при воздействии на него пламени горелки на его поверхности образуется расплав, горящие капли которого можно наблюдать в течение 10–15 с на первой-второй минутах эксперимента. Несмотря на то что остальные параметры горючести могут соответствовать значениям, установленным для группы Г1 (вследствие высокой ползучести материала под воздействием пламени), наличие горящих капель расплава однозначно относит такой материал к группе Г4 (сильногорючие материалы).

При испытаниях пенополистирольных плит ПСБ, ПСБ-С в ряде случаев не наблюдалось появления горящих капель расплава, однако по остальным параметрам эти материалы относятся к группе горючести Г3 или Г4.

Исследования процессов термодеструкции и термоокисления методами ТГА и ДГА [10] различных марок материала ППС позволили получить информацию о температурных диапазонах и скоростях терморазложения материала, динамике тепловыделения или поглощения тепла (в процессах термоокисления, пиролиза, плавления и др.), а также определить характерные температурные точки тепловых процессов.

Анализ характеристик термодеструкции, полученных по кривым термического анализа, позволяет установить, что все материалы ППС имеют коксовый остаток 2–5 %, высокую скорость терморазложения (до 45 %/мин) в интервале температур 350–500 °C и малую скорость тепловыделения. Температура начала интенсивного разложения составляет



Распространение огня по фасаду здания, утепленного пенополистиролом [13]

320 °C, что свидетельствует об одинаковой потенциальной пожарной опасности материалов [10].

Для устойчивости материалов на основе пенополистирола к возгоранию в их состав вводят антипирены — препараты, предохраняющие полимеры и другие конгломераты органического происхождения от воспламенения и самостоятельного горения.

Самозатухающий пенополистирол в пожарном плане ничем не отличается от обычного и в условиях реального пожара также подвержен горению [14, 15].

Пенополистирол имеет низкую теплостойкость и уже при температуре выше 80 °C (теплостойкость по Мартенсу составляет 80 °C) начинает необратимо терять форму. Введение в пенополистирол антипиренов (самозатухающий пенополистирол) уменьшает вероятность случайного возгорания, но не влияет на его теплостойкость. Поэтому главная опасность для конструкций стен, утепленных пенополистиролом, заключается в том, что всего двухчасовое термическое (100–110 °C) воздействие приводит к полной деструкции пенополистирола с уменьшением его объема в 3–5 раз [16].

Все термопластичные пластмассы в течение 3 мин способны воспламеняться от лучистой энергии интенсивностью 19,8 кВт/м². Если пенополистирол защищен гипсокартонной плитой (ГКЛ) толщиной 8 мм и смежной с ней древесно-волокнистой плитой (ДВП) толщиной 4 мм, то примерно через 22 мин после возгорания внутри помещения создаются условия для самовоспламенения пенополистирольного утеплителя внутри стеновой конструкции. Если пенополистирол защищен асбокементным листом толщиной 6 мм, то примерно через 7–8 мин под воздействием лучистой энергии пламени он прогревается до температуры самовоспламенения. По результатам исследований и опытов [17] установлено, что под слоем цементно-песчаной штукатурки толщиной 25–30 мм через 16 мин после возгорания пенополистирол прогревается до температуры 200 °C и выше. В трехслойных железобетонных панелях с утеплителем из ПСБ-С и защитным слоем из мелкозернистого тяжелого бетона толщиной 50 мм уже через 15 мин пожара происходит оплавление пенополистирола на значительную глубину, а через 45 мин — его полное расплавление [18].

В результате образовавшейся температурной волны пенополистирольный утеплитель на значительной площади конструкции может быть полностью уничтожен, так как процессу термодеструкции пенополистирола предшествует этап его пиролиза, развивающийся на начальной низкотемпературной фазе пожара и сопровождающийся обильным истечением летучих соединений [19].

При этом даже не затронутые огнем конструкции стен соседних квартир, поглотив часть продуктов разложения пенополистирола, окажутся безвозвратно загрязненными и непригодными для дальнейшего проживания.

Для совершенствования методики испытаний на горючесть ФГУ ВНИИПО МЧС России разработаны изменения и поправки к ГОСТ 30244–94, в том числе касающиеся оценки результатов испытаний плавящихся материалов. Так, при испытании материалов различных групп горючести не допускается:

- Г1–Г3 — образование горящих капель расплава;
- Г1 и Г2 — образование капель расплава;
- Г1 — оплавление образцов.

Наличие горящих капель расплава и оплавления фиксируют в протоколе испытаний, а материал относят к следующей по порядку группе горючести [10].

Вступивший в силу ГОСТ 31251–2010 существенным образом изменил методологическую основу проведения испытаний стен зданий на пожарную опасность. В частности, контроль степени горючести используемых материалов теперь должен осуществляться только по европейскому стандарту [11], который автоматически уравнивает пожарно-технические характеристики как горючих, так и самозатухающих разновидностей пенополистирола. Кроме того, новый нормативный документ однозначно требует, чтобы наружные стены здания с обеих сторон были выполнены из негорючих материалов, удельное значение пожарной нагрузки в любом помещении не превышало 700 МДж/м² и условная продолжительность пожара была менее 35 мин. Все эти ограничения равносильны запрету на применение пенополистирола для утепления фасадов зданий.

Европейские стандарты в первую очередь отталкиваются от оценки низкой теплоты сгорания испытуемого материала, которая для пенополистирола чрезвычайно высока (до 41,6 МДж/кг). Поэтому в Европе пенополистирол относится к самому горючему классу строительных материалов — Class E (соответствует Г4 в отечественной классификации) [19].

Выводы

Представленный в статье анализ пожарной опасности пенополистирола строительного назначения свидетельствует о высокой степени горючести данного материала. Самозатухающий пенополистирол в условиях реального пожара также подвержен горению. Скорость распространения огня в зданиях, в которых для утепления применяется пенополистирол, чрезвычайно высока. Горение пенополистирола сопровождается обильным выделением ядовитого густого черного дыма, который содержит угарный газ (CO), различные аэрозоли, свободный стирол и бензальдегид. Кроме того, при разложении антипиренов, вызванном воздействием высоких температур, образуются опасные вещества.

Согласно вступившим в силу нормативным документам, касающимся пожароопасности полимерных материалов и методов их контроля по данным показателям, пенополистирол не может использоваться для утепления фасадов зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клемпнер Д. Полимерные пены и технологии вспенивания // Пер. с англ. ; под ред. А. М. Чеботаря. — СПб : Профессия, 2009. — 600 с.
2. Brushlinski N. N., Sokolov S. V., Wagner P. World Fire Statistics at the End of the 20th Century // Fire and Explosion Safety. — 1999. — № 6. — Р. 59–69.
3. Гюмджян П. П., Коканин С. В. Влияние температуры, влажности, ультрафиолетового и инфракрасного облучений на старение пенополистирола // Строительство и реконструкция. — 2010. — № 6. — С. 77–83.
4. Проблемы и перспективы применения пенополистирола в строительстве : итоги круглого стола / Ведущий чл.-корр. В. Г. Гагарин // РААСН. URL: <http://www.raasn.ru>.
5. Пена дней / Строительный эксперт. — 2011. — № 03–04 (315). — С. 13–15.
6. Проблемы и перспективы применения пенополистирола в строительстве (информация) // Строительные материалы. — 2011. — № 3. — С. 68–69.
7. Woolley W. D. Fire and Cellular Polymers // Cellular Polymer. — 1985. — No. 4. — P. 81–115.
8. Ohlemiller T. J. Modelling of Smoldering Combustion Propagation // Progr. Energ. Combust. Sci. — 1985. — No. 11. — P. 227–310.
9. Щеглов П. П., Иванников В. Л. Пожароопасность полимерных материалов. — М. : Стройиздат, 1992. — 110 с.
10. Етумян А. С., Молчадский О. И., Константинова Н. И. Пожарная опасность теплоизоляционных материалов из пенополистирола // Пожарная безопасность. — 2006. — № 6. — С. 66–68.
11. EN ISO 1716:2002. Reaction to Fire Tests for Building Products. — Determination of the Heat of Combustion. — Brussels, 2002.
12. Мадорский Л. Термическое разложение органических полимеров // Пер. с англ.; под ред. С. Р. Рафикова. — М. : Мир, 1967. — 328 с.
13. Баталин Б. С., Евсеев Л. Д. Пенополистирол: низвержение мифа // Строительный эксперт. — 2010. — № 09–10 (306). — С. 13–15.
14. Жуков Д. Д. Об актуальных проблемах применения новых строительных технологий // Строительство и недвижимость. — 2004. — № 11.
15. Корольченко А. Я. Пожарная опасность материалов для строительства. — М. : Пожнаука, 2009. — 217 с.
16. Варианты включения новых веществ в Протокол по стойким органическим загрязнителям : доклад сопредседателей Целевой группы по стойким органическим загрязнителям / Европейская экономическая комиссия ООН, 47-я сессия ECE/EB.AIR/WG.5/2010/8, Женева, 30 августа – 3 сентября 2010 г. URL : <http://www.unece.org>.
17. An Overview of Alternatives to Tetrabromobisphenol A (TBBPA) and Hexabromocyclododecane (HBCD). — University of Massachusetts Lowell, March 2006.
18. Data on manufacture, import, export, uses and releases of HBCDD as well as information on potential alternatives to its use : The technical work on this report has been led by IOM Consulting, supported by BRE, PFA and Entec under framework contract ECHA/2008/2.
19. Пенополистирол / Википедия — свободная энциклопедия. URL : <http://ru.wikipedia.org>.

Материал поступил в редакцию 23 мая 2011 г.
Электронные адреса авторов: s.kokanin@yandex.ru; 8691aap@mail.ru.



О. Б. Рудаков
д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, г. Воронеж, Россия



А. В. Калач
канд. хим. наук, доцент, заместитель начальника по научной работе Воронежского института ГПС МЧС РФ, г. Воронеж, Россия



А. М. Черепахин
аспирант Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, г. Воронеж, Россия



А. А. Исаев
начальник учебного отдела Воронежского института ГПС МЧС РФ, г. Воронеж, Россия

УДК 614.84:547.42

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ БИНАРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Изучено влияние состава на температуру вспышки бинарных органических растворителей гексан – модификатор (изопропанол, тетрагидрофuran, диоксан, хлороформ), применяемых в жидкостной хроматографии.

Ключевые слова: органические бинарные растворители; пожароопасные свойства; температура вспышки; жидкостная хроматография.

Ранее уже рассматривались пожароопасные свойства индивидуальных органических растворителей и их водных растворов [1–4]. Установлено, что с увеличением доли воды в водно-органических смесях их пожароопасность снижается. Однако характер повышения температуры вспышки в зависимости от концентрации воды имеет существенные отклонения от аддитивности, что необходимо учитывать при их практическом применении. Например, при проведении рутинных анализов методами высокоеффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и тонкослойной жидкостной хроматографии (ТСХ) часто используются двойные, тройные, а иногда и кватернарные смеси из набора более чем 50 органических растворителей из класса ЛВЖ [5]. Для жидкостной и твердофазной экстракции также применяются смеси органических растворителей [6]. Ежедневная потребность в органических растворителях аналитических лабораторий, в которых используются экстракционные и жидкостно-хроматографические методы разделения и анализа, может составлять несколько литров, не считая их резервного количества. Поэтому актуальность обеспечения пожарной безопасности в сфере прикладной аналитики весьма высока.

В настоящей работе изучено влияние состава бинарных органических растворов, состоящих из неполярного гексана и полярных активных модификаторов (растворителей), на температуру их вспышки

в открытом тигле. Эти смеси с содержанием гексана более 50 % об. применяются в нормально-фазовой ВЭЖХ и ТСХ, а также в жидкостной и твердофазной экстракции гидрофобных соединений. В табл. 1 приведены данные о давлении насыщенного пара $P_{\text{пар}}$ и температурах вспышки в открытом тигле $T_{\text{всп}}$, самовоспламенения $T_{\text{свп}}$ и кипения $T_{\text{кип}}$ индивидуальных растворителей, использовавшихся в данном исследовании.

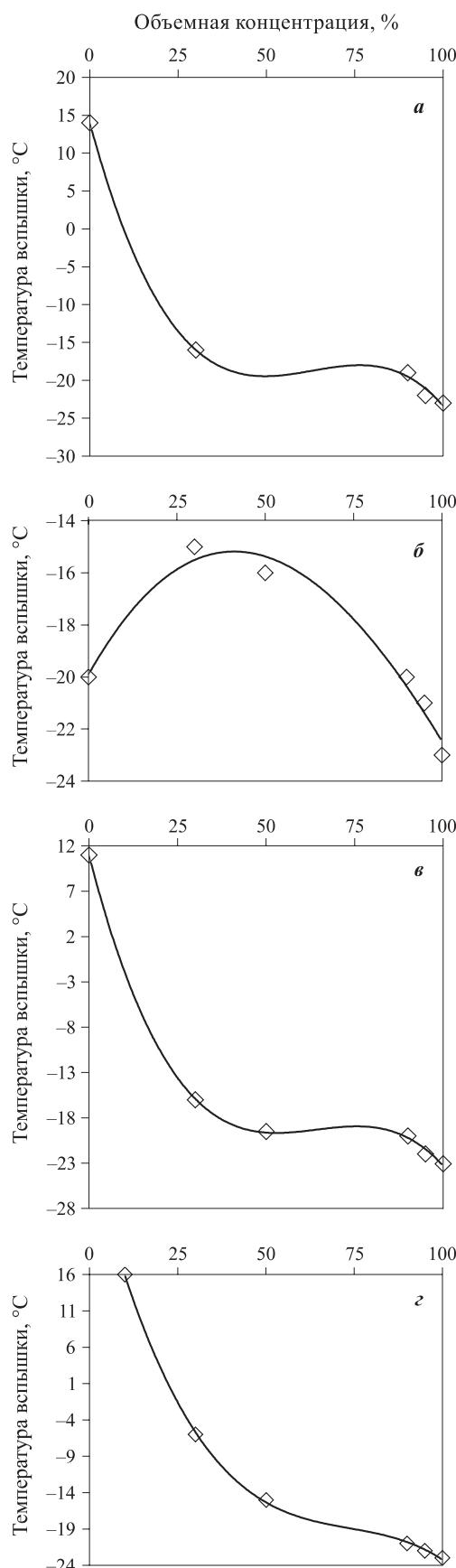
Рабочие смеси гексана с модификаторами приготавливались последовательным разбавлением чистым модификатором при температуре $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$. Таким способом были приготовлены образцы со следующими концентрациями гексана *w*: 100, 95,

Таблица 1. Некоторые свойства исследуемых растворителей [5]

Растворитель	$T_{\text{всп}}$, $^\circ\text{C}^*$	$T_{\text{свп}}$, $^\circ\text{C}$	$P_{\text{пар}}$ при 20°C , мм рт. ст.	$T_{\text{кип}}$, $^\circ\text{C}$
Гексан	-21,6 (-23,0)	261	121	68,7
Диоксан	5,0** (11,0)	300	27	101,3
Изопропанол	11,7 (14,0)	400	32	82,4
Тетрагидрофуран (ТГФ)	-20 (-20)	250	132	66,0
Хлороформ	-	-	160	61,1

* В скобках приведены экспериментальные данные, полученные авторами.

** Температура вспышки в закрытом тигле.



Зависимость температуры вспышки от объемной концентрации гексана в смеси с модификатором: *a* — изопропанол; *б* — ТГФ; *в* — диоксан; *г* — хлороформ

90, 50, 30, 10 % об. Температура вспышки данных образцов определялась по п. 4.5 ГОСТ 12.1.044–89*. Для охлаждения смесей до минус 25 °C использовали 35 %-ный раствор K_2CO_3 , выдержаный в морозильной камере. Результаты экспериментов представлены на рисунке.

Найдено, что зависимость температуры вспышки от состава смесей адекватно описывается полиномом третьей степени (табл. 2):

$$T_{\text{всп}} = aw^3 + bw^2 + cw + d, \quad (1)$$

где a, b, c, d — эмпирические коэффициенты.

Отметим, что свободный коэффициент d равен температуре вспышки модификатора, за исключением системы гексан — хлороформ. В этом случае речь может идти о предельной температуре вспышки смеси, в которой содержится минимально возможное для вспышки количество горючего гексана. При концентрации гексана 30–100 % зависимость $T_{\text{всп}} = f(w)$ слабо зависит от природы модификатора и лимитируется преимущественно концентрацией гексана. Это, вероятно, связано с относительно высоким парциальным давлением гексана в паровой фазе при отрицательных температурах, для молекул которого в жидкой фазе не характерны специфические межмолекулярные взаимодействия.

Найдено, что изученные смеси по пожарной опасности при концентрации гексана выше 50 % близки к чистому гексану, а при более высоких концентрациях модификатора располагаются в такой последовательности: гексан — ТГФ < гексан — диоксан < гексан — изопропанол < гексан — хлороформ.

Следует отметить, что для системы гексан — тетрагидрофуран зависимость $T_{\text{всп}} = f(w)$ проходит через максимум ($T_{\text{всп}} = -15 ^\circ C$) в области, близкой к эквиобъемному составу: $w = 40 \div 50$ %. Таким образом, смеси гексан — тетрагидрофуран менее пожароопасны, чем исходные индивидуальные компоненты. Наличие синергетического эффекта, приводящего к повышению температуры вспышки, нельзя объяснить изменением структуры бинарной жидкости, ибо реакция окисления протекает в газовой фазе. Для смеси гексан — тетрагидрофуран в области $w = 54$ % характерно явление азеотропии

Таблица 2. Эмпирические коэффициенты в уравнении (1) для смесей гексан — модификатор и степень аппроксимации r^2

Модификатор	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>r</i> ²
Диоксан	$-1 \cdot 10^{-4}$	0,024	-1,51	11,0	0,999
Изопропанол	$-2 \cdot 10^{-4}$	0,029	-1,72	14,0	0,999
Тетрагидрофуран (ТГФ)	$7 \cdot 10^{-6}$	-0,003	0,24	-20,0	0,974
Хлороформ	$-1 \cdot 10^{-4}$	0,025	-1,93	32,8	0,999

[5], когда состав жидкой и парообразной фаз одинаков и смесь кипит при температуре ниже температуры кипения чистых компонентов (63 °C), а значит, парциальное давление паров обоих растворителей соизмеримо и достаточно высоко. Возможно, стадия развития цепной реакции окисления в газообразной смеси гексана и тетрагидрофурана приводит к

образованию интермедиатов, имеющих меньшую реакционную способность, чем в случае воспламенения индивидуальных паров.

В заключение отметим, что результаты, полученные в ходе проведенных исследований, могут быть использованы в практической работе при категорировании помещений аналитических лабораторий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30.
2. Алексеев С. Г., Пицальников А. В., Левковец И. А., Барбин Н. М. О пожароопасности водных растворов этанола // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 31–33.
3. Рудаков О. Б., Калаch А. В., Бердникова Н. В. Пожарная опасность водорастворимых растворителей и их растворов // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 1. — С. 31–32.
4. Рудаков О. Б., Черепахин А. М., Подolina Е. А. Пожарная опасность смешанных растворителей для лаков и красок // Инженерные системы и сооружения. — 2010. — № 1. — С. 257–263.
5. Рудаков О. Б., Востров И. А., Федоров С. В. и др. Спутник хроматографиста. Методы жидкостной хроматографии. — Воронеж : Водолей, 2004. — 528 с.
6. Рудакова Л. В., Подolina Е. А., Рудаков О. Б. Рейтинг растворителей для экстракционно-инструментальных методик определения фенола // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2009. — № 2. — С. 177–190.

Материал поступил в редакцию 6 апреля 2011 г.

Электронные адреса авторов: robi57@mail.ru; a_kalach@mail.ru; chemistry@vgasu.vrn.ru; vigps@mail.ru.



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 эксплозионной 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

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации

А.Н. ЧЛЕНОВ, Т.А. БУЦЫНСКАЯ, И.Г. ДРОВНИКОВА. — Ч. 1. — 316 с.
В.П. БАБУРОВ, В.В. БАБУРИН, В.И. ФОМИН. — Ч. 2. — 300 с.

В учебно-справочном пособии рассмотрены общие вопросы построения систем охранной сигнализации, приведены сведения об основных видах технических средств, составляющих систему: извещателях, приемно-контрольных приборах, системах передачи извещений, оповещателях и блоках питания. Рассмотрены современное состояние рынка средств охранной сигнализации и тенденции его развития.

Большое внимание уделено вопросам проектирования систем охранной сигнализации, требованиям по их монтажу и технической эксплуатации. Рассмотрены особенности применения средств сигнализации в пожаро- и взрывоопасных зонах.

Книга предназначена для практических работников в области систем безопасности и может быть использована как учебное пособие для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.

WEB-САЙТ:
www.firepress.ru

ЭЛ. ПОЧТА:
mail@firepress.ru;
izdat_pozhnauka@mail.ru

Телефон:
(495) 228-09-03,
тел./факс:
(495) 445-42-34





В. М. Балакин
канд. хим. наук, профессор
Уральского государственного
лесотехнического университета,
г. Екатеринбург, Россия



Д. Ш. Гарифуллин
аспирант Уральского
государственного лесотех-
нического университета,
г. Екатеринбург, Россия



С. В. Ислентьев
студент Уральского
государственного лесотех-
нического университета,
г. Екатеринбург, Россия

УДК 678.019

АЗОТФОСФОРСОДЕРЖАЩИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СОСТАВЫ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ АМИНОЛИЗА ПОЛИУРЕТАНОВ

На основе продуктов аминолиза литьевых полиуретанов различного строения были получены азотфосфорсодержащие огнезащитные составы. Проведена оценка первичной огнезащитной эффективности составов на установке типа ОТМ. Показана возможность получения на основе продуктов аминолиза полиуретана эффективных огнезащитных составов для древесины.

Ключевые слова: полиуретаны; аминолиз; огнезащитный состав.

В настоящее время актуальной задачей является переработка и утилизация отходов полимеров, в частности полиуретанов (ПУ) [1]. Полиуретаны представляют собой класс полимерных материалов, которые обладают универсальными свойствами. Благодаря разнообразию форм, которые они могут принимать, — от мягких пенопластов до жестких материалов с различными свойствами, они находят применение в различных областях промышленности и народного хозяйства [2]. В связи с высоким потреблением полиуретановых материалов неизбежно возникает проблема утилизации отходов, получаемых в процессе производства и потребления полиуретанов.

Одним из методов переработки отходов полиуретанов является химическая деструкция [3, 4]. Перспективным методом химической деструкции отходов полиуретанов может служить аминолиз [5], однако важным фактором, сдерживающим широкое применение данного метода, является проблема квалифицированного применения продуктов аминолиза.

Целью работы был синтез азотфосфорсодержащих огнезащитных составов на основе продуктов аминолиза полиуретанов и первичная оценка огнезащитной эффективности полученных составов на установке типа ОТМ.

В качестве исходных ПУ были взяты отходы производства литьевых полиуретанов НПО “Уником-Сервис” (г. Первоуральск, Свердловская обл.). В работе были использованы три типа полиуретанов: на основе 2,4-толуилендиизоцианата и простого полиэфира — политетраметиленгликоля (I); на основе 4,4'-метилендиизоцианата (II) и 1,5-нафтилендиизоцианата (III), и сложных полизифиров на основе адипиновой кислоты и гликоля. В качестве отвердителя для этих полиуретанов использовались Диамет X и 1,4-бутандиол. Структура полиуретанов представлена на рис. 1.

В качестве аминов были использованыmonoэтаноламин (МЭА), диэтаноламин (ДЭА), полиэтиленполиамин (ПЭПА) и этилендиамин (ЭДА) марки “хч”.

Реакция аминолиза протекала при 130–180 °C в течение 2–5 ч. Азотсодержащие продукты аминолиза, представляющие собой вязкие жидкости темно-красного цвета (ПУ на основе простых полизифиров) или твердые продукты (ПУ на основе сложных полизифиров), использовались в качестве аминосоставляющего компонента в реакции фосфорилирования (реакции Кабачника – Филдса [6]) с получением производных α -метиленфосфоновых кислот. Полученный продукт фосфорилирования нейтрализовался водным раствором аммиака до нейтрального значения pH с получением аммонийных солей ме-

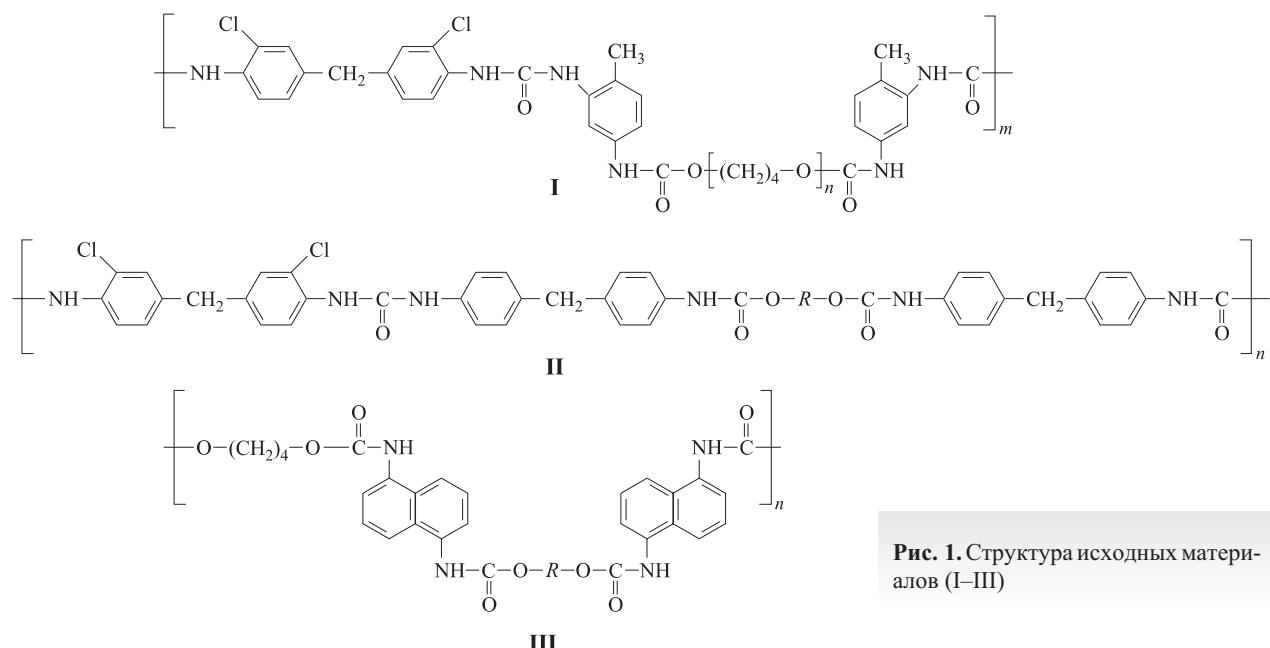
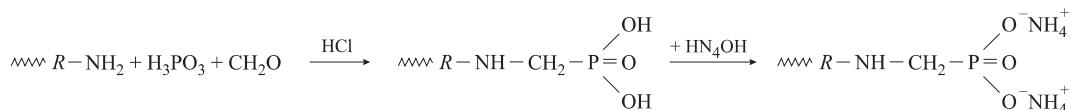


Рис. 1. Структура исходных материалов (I–III)

Рис. 2. Схема получения огнезащитного состава: R — азотсодержащая часть продуктов аминолиза ПУ

тиленфосфоновых кислот. Продукт нейтрализации использовался в качестве огнезащитного состава для древесины. Ранее на кафедре технологии переработки пластических масс Уральского государственного лесотехнического университета были разработаны огнезащитные составы на основе аммонийных солей моно- и полиметиленфосфоновых кислот, применяемые для огнезащиты древесных плит [7].

Таблица 1. Краткая характеристика физико-химических свойств огнезащитных составов на основе продуктов аминолиза полиуретанов

Состав	Исходный полиуретан	Амин	Физико-химические свойства составов	
			Плотность, г/см ³	Концентрация состава, %
ОЗС I	I	МЭА	1,19	44,6
		ДЭА	1,18	61,2
		ЭДА	1,19	56,2
		ПЭПА	1,13	54,2
ОЗС II	II	МЭА	1,19	57,2
		ДЭА	1,20	56,4
		ЭДА	1,20	55,7
		ПЭПА	1,15	56,9
ОЗС III	III	МЭА	1,20	56,3
		ДЭА	1,16	59,0
		ЭДА	1,22	59,0
		ПЭПА	1,20	59,2

Схема получения огнезащитного состава приведена на рис. 2.

Готовые огнезащитные составы представляли собой прозрачные жидкости темно-красного цвета. Физико-химические свойства данных составов приведены в табл. 1.

Первичные огнезащитные свойства составов определялись на установке типа ОТМ [8]. Зависимости

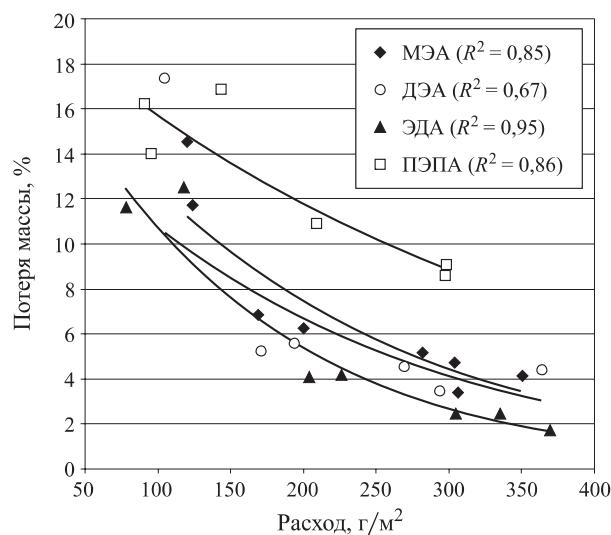


Рис. 3. Зависимость потери массы древесины от расхода ОЗС I (на основе 2,4-толуилидендиизоцианата и простого полиэфира — политетраметиленгликоля)

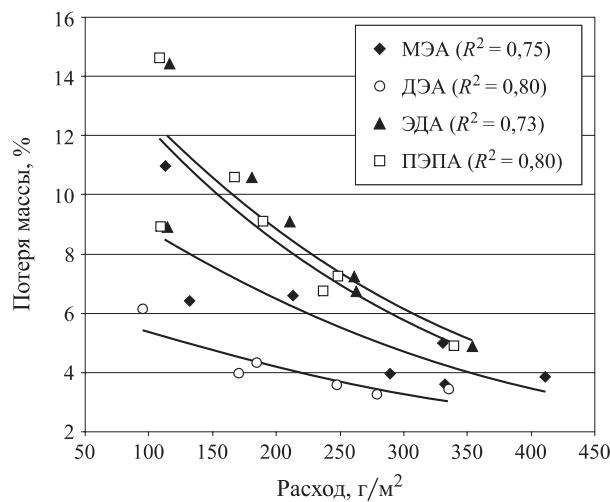


Рис. 4. Зависимость потери массы древесины от расхода ОЗС II (на основе 4,4'-метилендиизоцианата и сложного полизифира на основе адипиновой кислоты и гликоля)

потери массы образцов древесины от расхода огнезащитных составов представлены на рис. 3–5.

Огнезащитные составы обладают высокой огнезащитной эффективностью. Составы на основе 2,4-толуилидендиизоцианата (I) и простого полизифира обеспечивают I группу огнезащитной эффективности при расходе от 150 г/м² и на основе ПЭПА — от 300 г/м². Составы на основе 4,4'-метилендиизоцианата (II) и сложного полизифира обеспечивают I группу огнезащитной эффективности при расходе

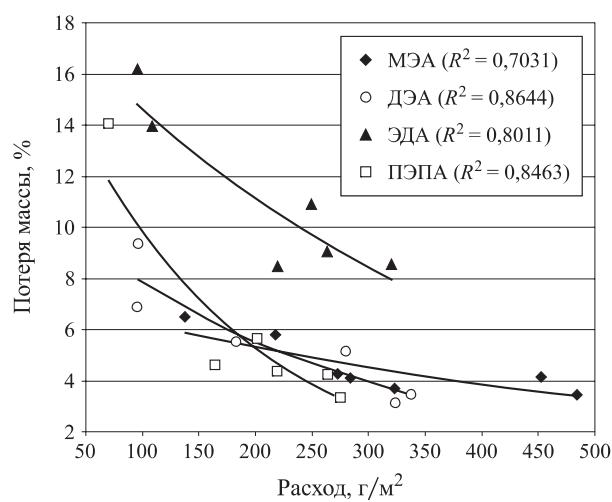


Рис. 5. Зависимость потери массы древесины от расхода ОЗС III (1,5-нафтилендиизоцианата и сложного полизифира на основе адипиновой кислоты и гликоля)

от 200 г/м². Составы на основе 1,5-нафтилендиизоцианата (III) и сложного полизифира обеспечивают I группу огнезащитной эффективности при расходе от 150 г/м² и на основе ЭДА — от 300 г/м².

Таким образом, показана возможность получения эффективных огнезащитных составов для древесины на основе продуктов аминолиза ПУ, что является оригинальным решением, позволяющим обеспечить безотходную утилизацию вторичных полипуретанов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вторичная переработка пластмасс : пер. с англ.; под ред. Г. Е. Заикова. — СПб : Профессия, 2006. — 400 с.
2. Кузнецова Т. М. Развитие рынка полиуретана — перспективное направление повышения эффективности российской нефтехимии. Часть 1 / Нефтехимический комплекс России : ежемесячный бюллетень. — 2008. — № 5. — С. 23–28.
3. Datta J., Ronh M. Glikoliza odpadów poliuretanowych / Polimery. — 2007. — Vol. 52, No. 7–8. — P. 579–582.
4. Zia K. M., Bhatti H. N., Bhatti I. A. Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery : a review // Reactive & Functional Polymers. — 2007. — Vol. 67, No. 8. — P. 675–692.
5. Xue S., Omoto M., Hidai T., Imai Y. Preparation of epoxy hardeners from waste rigid polyurethane foam and their application // Journal of Polymer Science. — 1995. — Vol. 56, No. 2. — P. 127–134.
6. Петров К. А., Чазов В. А., Ерохина Т. С. Аминоалкильные фосфорорганические соединения // Успехи химии. — 1974. — Т. XLIII. — Вып. 11. — С. 2045–2087.
7. Балакин В. М., Таланкин В. С., Литвинец Ю. И. и др. Исследование аминометиленфосфонатов в качестве антиприренов для древесных плит // Технология древесных плит и пластиков : межвуз. сб. — Свердловск : УПИ, 1983. — С. 76–79.
8. ГОСТ Р 53292–2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний : введ. 01.01.2010. — М. : Стандартинформ, 2009.

Материал поступил в редакцию 17 июня 2011 г.
Электронный адрес авторов: damir26-86@mail.ru.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

Обеспечение пожарной безопасности электроустановок



Рецензенты: Федеральное государственное учреждение Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, кафедры физики и пожарной безопасности технологических процессов Академии ГПС МЧС России.

В учебном пособии рассмотрены общая схема электроснабжения потребителей, классификация электроустановок и причины пожаров от них, а также вероятностная оценка пожароопасных отказов в электротехнических изделиях и пожарная безопасность комплектующих элементов. Приведены нормативные обоснования и инженерные решения по обеспечению пожарной безопасности электроустановок и защите зданий и сооружений от молний и статического электричества.

Учебное пособие предназначено для практических работников в области систем безопасности и может быть использовано для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.



Web-сайт: firepress.ru

Эл. почта: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru

Тел.: (495) 228-09-03, тел./факс: (495) 445-42-34



С. А. Ненахов
канд. хим. наук, ведущий
научный сотрудник НПП “Теплохим”,
г. Москва, Россия



В. П. Пименова
канд. хим. наук, заместитель директора
по научной работе НПП “Теплохим”,
г. Москва, Россия

УДК 614.849

ДИНАМИКА ВСПЕНИВАНИЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОСТАВОВ

Экспериментально изучены закономерности вспенивания огнезащитных покрытий на основе органо-неорганических составов, сформированных на классической пенообразующей триаде (полифосфате аммония, меламине, пентаэритрите) и пленкообразователе (сополимере винилацетата). Показано, что в широком температурно-временном диапазоне в условиях стандартного температурного режима пожара первоначально происходит увеличение объема пены, а затем ее коллапс, достигающий примерно половины от максимума вспененного объема. С увеличением толщины исходного покрытия объем вспененного слоя возрастает нелинейно, т. е. прирост вспенивания на единицу толщины исходного покрытия снижается. На основе изучения морфологических превращений выделены три различных состояния вспененной массы, отличающиеся степенью химического превращения: собственно пена, пенококс и пенозола. Совокупность полученных данных показывает, что увеличение объема вспененной массы сопровождается редукцией толщины вспененного слоя с самого начала процесса, поскольку рост и редукция пены являются следствием одного процесса — термического разложения вспенивающейся композиции. Оба процесса протекают практически синхронно и имеют достаточно близкие кинетические константы, но в различных частях системы, разделенных слоем вспененной массы. Соотнося присущие этим процессам объемные эффекты, можно констатировать, что коэффициент эффективности процесса вспенивания у материалов данного типа составляет не более 40 %, а потери — не менее 60 %.

Ключевые слова: вспенивание; пенококс; пенозола; коллапс пены; толщина покрытия; морфология; гранулярно-пористая структура; кинетика вспенивания; коэффициент эффективности процесса вспенивания.

Введение

Общеизвестно, что главным явлением в термо-вспенивающихся огнезащитных покрытиях является... вспенивание, сопровождающееся отъемом тепла и торможением теплового потока к защищаемому изделию. Благодаря усилиям исследователей в последние 2–3 десятилетия химизм вспенивания и образования пенококса в общих чертах стал ясен [1–3]. А вот физические закономерности термовспенивания во вспенивающихся огнезащитных покрытиях (если сравнивать уровни развития химических и физических представлений), как ни странно, практически не изучены.

Интересные результаты получены в работах по численному моделированию вспенивающихся термопластичных материалов. Так, в работе [4] проанализированы явления на микроуровне; рассмотрена роль вспенивания и разрыва пузырьков на скорость их роста; показана степенная ($1/2$) зависимость изменения объема вспенивающейся системы от времени. Но автор [4] и сам указывает на необходимость развития экспериментальных исследований и физических представлений.

Очевидно, что в отсутствие знаний о закономерностях вспенивания поиски прикладных решений при совершенствовании систем отдаются, по сути, на волю случая. Среди закономерностей термовспенивания, существенных и с познавательной, и с прикладной точек зрения, можно назвать следующие группы вопросов: термические и кинетические закономерности вспенивания на макро- и микроуровне; природа параметров, определяющих их значения; зависимость макрохарактеристик вспенивания от толщины исходного покрытия, а также от природы и концентрации компонентов; размер и структура области превращений, особенности пенных структур на микроуровне и особенности их развития; и наконец, связь структуры, состава пены и ее свойств (деформационно-прочностных, теплопроводности и др.).

Целью настоящей работы являлось экспериментальное изучение закономерностей вспенивания огнезащитных покрытий на основе органо-неорганических составов, а именно морфологических особенностей вспенивания, кинетики вспенивания и влияния толщины исходного покрытия на величину вспенивания.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали модельные составы МК1 и МК2 и известный материал Унитерм АДР, представляющие собой в исходном состоянии водно-дисперсионные материалы. Вспенивающаяся фаза в модельных составах — это смесь полифосфата аммония, пентаэритрита, меламина в соотношении 2:1:1. Два модельных состава отличались соотношением вспенивающейся фазы и пленкообразователя и, соответственно, коэффициентом вспенивания. Состав МК2 подбирали так, чтобы его коэффициент вспенивания был примерно в два раза ниже, чем у состава МК1, для получения корректных показаний температуры среды при больших толщинах исходных покрытий (во избежание перекрытия вспененной массой термопары, регистрирующей температуру среды). Концентрация наполнителя — диоксида титана в обоих составах составляла 8 % масс. Для приготовления смесей использовали: полифосфат аммония (Exolit APP 422, Clariant, Германия), пентаэритрит (Charmor PM 40, Perstorp, Швеция), меламин (Melafine, DSM, Голландия), диоксид титана (Kemira 660, Kemira, Финляндия), высокомолекулярный углеводород — со-полимер винилацетата и винилового эфира версатиковой кислоты в виде водной дисперсии (Mowilith DM 230, Celanese Corporation).

Модельные составы готовили в лабораторном диспергаторе ЛДУ-3МПР в технической воде, составляющей примерно 30 % масс. общей массы смешиваемых сухих компонентов. Сухие компоненты по очереди загружали в водную среду. После загрузки очередной навески производили перемешивание рамной мешалкой в течение 10–15 мин со скоростью вращения ее якоря от 250 до 750 мин⁻¹. Общее время подготовки одного образца составляло 50 мин.

Покрытия формировали на стальных пластинах (Ст3) размером 140×80×1 мм, нанося на них аппликатором жидкие составы ровным слоем одинаковой толщины. Из каждого состава готовили по два образца покрытий на стальной подложке. Покрытия сушили в течение 1 сут при нормальных лабораторных условиях, затем при температуре 60 °C — в течение 2 ч и снова — не менее 2 сут в нормальных лабораторных условиях. Толщину покрытий для огневых испытаний контролировали с точностью до 1 мкм электромагнитным толщиномером “Константа К5”.

Термовспенивание покрытий выполняли по методике, основанной на способе определения теплоизолирующих свойств вспучивающихся покрытий по металлу и описанной в [5], в условиях стандартного температурного режима [6], с одновременной регистрацией температуры нагрева стального субстрата. Понятно, что подобного рода исследования

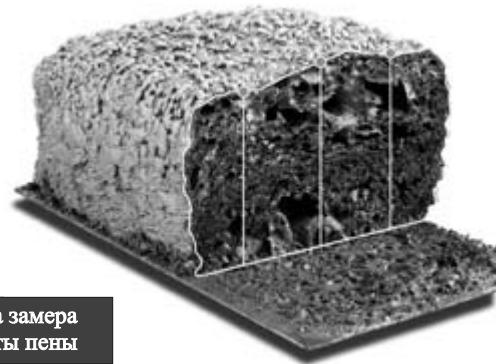


Рис. 1. Измерение толщины слоя вспененного кокса без озоления на срезе

желательно выполнять при фиксированных условиях (изотермических и др.), использование же стандартного температурного режима нагрева может затруднить интерпретацию данных, но зато приближает эксперимент к реальным условиям пожара. Термовспенивание осуществляли в двух сериях экспериментов.

В первой серии экспериментов (при изучении кинетики вспенивания) испытания проводили на группе образцов покрытий одинаковой толщины — (1,0±0,05) мм на основе состава М1 и Унитерм АДР. Образцы нагревали, повышая максимальную температуру нагрева стального субстрата для каждого последующего образца с шагом 50 °C в интервале температур от 20 до 700 °C. Во второй серии экспериментов (при изучении влияния толщины исходного покрытия на толщину вспененного слоя) исследования проводили на группе образцов покрытий состава М2 и Унитерм АДР, отличающихся исходной толщиной (от 0,3 до 4,5 мм) с нагревом стально-го субстрата под покрытием до температуры 500 °C.

По достижении заданной температуры нагрев прекращали, образцы охлаждали и в средней части вспененного слоя выполняли срезы таким образом, чтобы плоскость разреза была ориентирована перпендикулярно к поверхности стальной пластины (рис. 1). Измеряли общую толщину вспененного слоя и отдельных, отличающихся цветом слоев вспененной массы с помощью металлической измерительной линейки с погрешностью ±1,0 мм на срезе в трех точках.

Коэффициент вспенивания покрытия k определяли как $k = H/h$, где H — толщина вспененного покрытия; h — толщина исходного покрытия.

Изменение массы составов в ходе нагрева со скоростью 10 °C/мин от комнатной температуры до 900 °C изучали в потоке воздуха величиной 100 мл/мин с помощью универсального прибора SDT Q600 фирмы “Thermal Analysis Instruments” (США) с программным комплексом TA Universal Analysis V3.9A.

Экспериментальные результаты

Морфологические состояния

Вспенивающиеся органо-неорганические покрытия (ОНП) в ходе нагрева претерпевают, как известно [3, 7–9], фазовые и химические превращения, благодаря которым и образуется вспененная масса. В процессе вспенивания масса морфологически неоднородна по толщине. Визуальное изучение сечений вспененной массы позволяет выделить слои, отличающиеся цветом и структурой. На начальной стадии формирования в сечении вспененного ОНП можно выделить несколько слоев: тонкий слой исходного покрытия, зону физико-химических превращений (вспененный слой) и слой пенококса (рис. 2, а).

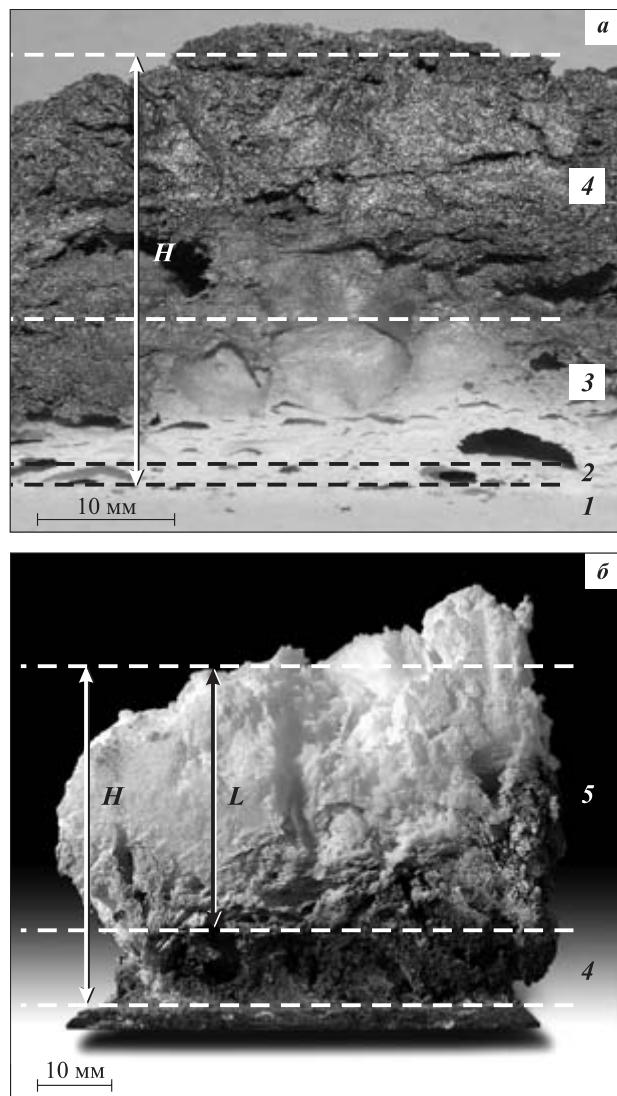


Рис. 2. Морфология пенококса (сечение) на основе состава МК1, формирующегося после 10 мин (а) и 20 мин (б) нагрева: 1 — стальная подложка; 2 — слой исходного покрытия; 3 — область физико-химических превращений; 4 — пенококс; 5 — озоленная пена

Зона превращений представляет собой вспененную массу с крупными порами (до 10 мм), сохраняющимися, по-видимому, благодаря гранулярно-пористой структуре исходного покрытия. Цвет массы в зоне превращений неоднороден по толщине, имеет градиентный характер по линии направления теплового потока — от светлого до темно-коричневого.

Пенококс представляет собой пену черного цвета, в которой практически отсутствуют крупные поры. Можно полагать, что поры заполняются вспенивающейся массой. На поздних стадиях (примерно на 14–15-й минутах нагрева, когда температура среды, а значит, и температура внешнего слоя пенококса, достигают порядка 740 °С) на внешней поверхности вспененного кокса начинается его озление (рис. 2, б), пенозола приобретает белый цвет (чаще всего белый, но иногда различных оттенков в зависимости от состава). Образование пенозолы обусловлено, как можно полагать, выгоранием конденсированной фазы пенококса и сопровождается изменением структуры и свойств пены. Фронт озления распространяется в слое пенококса во времени, при этом толщина слоя пенозолы увеличивается, а толщина слоя черного пенококса, соответственно, уменьшается. Граница между слоями развита и размыта. Морфологические трансформации для составов МК1 и Унитерм АДР подобны, количественные характеристики процесса (время и температура начала процессов, коэффициент вспенивания, толщина озления) различаются.

Кинетика вспенивания

Кинетические зависимости изменения толщины вспенивающегося слоя *H* покрытий на основе состава МК1 и материала Унитерм АДР (рис. 3) в неизотермических условиях стандартного температурного режима нагрева (стальной субстрат под покрытием прогревался от 23 до 700 °С) в основном имеют параболическую форму, т. е. с начала процесса толщина пенного слоя возрастает во времени, при этом прирост толщины в единицу времени снижается до нулевого значения. Примерно на 14-й минуте пенококс на внешней поверхности пенного слоя начинает интенсивно превращаться в пенозолу.

Максимум вспенивания состава МК1 приходится на 20-ю минуту нагрева, коэффициент вспенивания *k* при этом достигает 40. Для Унитерма АДР максимум достигается на 25-й минуте, *k* = 50. Стальной субстрат достигает предельной температуры 500 °С под покрытием М1 на 21-й минуте, под покрытием Унитерм АДР — на 29-й минуте. Как видим, к моменту достижения субстратом предельной температуры вспенивание (при толщине исходного покрытия 1 мм) реализуется в полной мере. Нали-

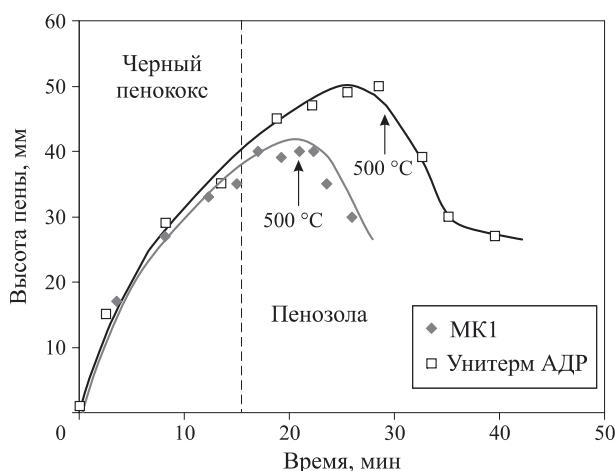


Рис. 3. Кинетика изменения толщины вспененного слоя на основе MK1 и Унитерм АДР: стрелками показано время достижения стальным субстратом предельной температуры

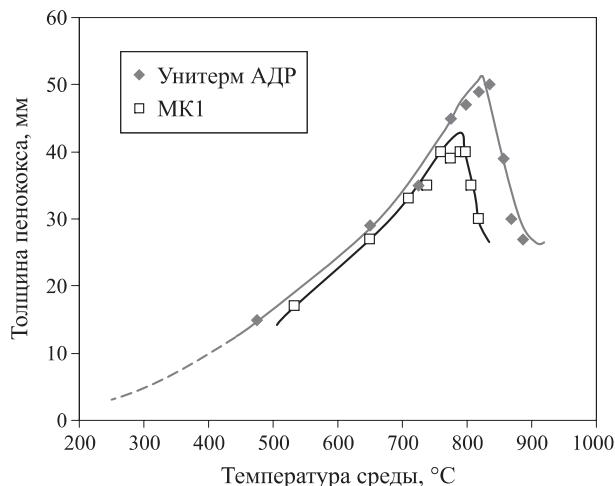


Рис. 4. Зависимость общей толщины слоя вспененного кокса от температуры среды: пунктир — температура образования пенозолы

чие максимума на кинетической кривой вспенивания разделяет два временных диапазона с различным характером процесса. В первом диапазоне имеет место рост толщины слоя вспененного кокса с убывающей во времени скоростью. Во втором диапазоне толщина слоя пенококса уменьшается с возрастающей скоростью, а затем стабилизируется, например, для состава Унитерм АДР при значении порядка 30 мм. Отметим, что для изученных составов стадия коллапса реализуется позже времени достижения предельной температуры субстрата.

Поскольку температура за изученное время изменяется в достаточно больших пределах, то интересно проследить характер изменения общей толщины пенококса в зависимости от температуры среды (рис. 4). Можно считать, что температуры среды

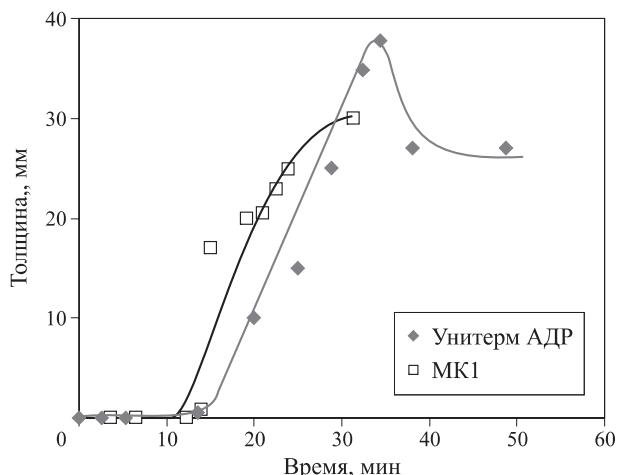


Рис. 5. Кинетика изменения толщины слоя пенозолы

и внешней поверхности пенококса практически совпадают. Если графически экстраполировать кривые на ось ординат (см. рис. 4), то видно, что интенсивное вспенивание у обеих систем начинается при температуре примерно 200 °C. При дальнейшем росте температуры толщина вспененного слоя у обеих систем увеличивается по вогнутой кривой со средней скоростью порядка 0,1 мм/°C и достигает максимума при температуре среды 840 °C для материала Унитерм АДР и 740 °C — для состава MK1. Затем толщина вспененного слоя исследуемых систем интенсивно снижается со скоростью порядка 0,4 мм/°C для обеих систем вплоть до некоторой температуры и затем выпадает.

Отметим, что зависимость коэффициента вспенивания от времени или температуры имеет такой же характер и абсолютные значения, что и толщина вспененного слоя (см. рис. 3 и 4), поскольку эти зависимости получены на покрытии постоянной толщины 1 мм. Другими словами, коэффициент вспенивания покрытия при термическом воздействии сначала нелинейно возрастает до максимума, а достигнув его, снижается до некоторого квазистационарного значения.

Озоленный слой у обеих систем появляется при температуре среды порядка 730 °C. Кинетика увеличения толщины слоя озоленного слоя L представлена на рис. 5, из которого видно, что у обеих систем озование начинается на 14-й минуте. Далее у состава MK1 толщина озоленного слоя увеличивается в течение примерно 5 мин практически линейно до 20 мм, затем скорость роста его толщины снижается, и примерно на 30-й минуте озование распространяется на весь слой пенококса. У состава Унитерм АДР толщина озоленного слоя возрастает постепенно, практически пропорционально времени, вплоть до 33-й минуты, а затем в изученном временном интервале уменьшается. По прошествии

определенного времени фронт пенозолы достигает поверхности металлического субстрата, и вспененная масса по всей толщине изменяет цвет с черного на белый. В последние 10 мин наблюдения (см. рис. 5, 38–48-я минуты процесса) толщина его стабилизируется.

Заметим, что температурная “привязка” зависимости толщины пенококса к термограмме нагрева стальной пластины менее информативна, хотя она тоже характеризует температуру огнезащитного слоя вблизи границы раздела *покрытие — металл*. Здесь важно отметить, что предельная для стали температура (500°C) достигается у покрытий толщиной 1 мм на основе составов МК1 и Унитерм АДР соответственно на 21-й и 32-й минутах. В это время у обоих составов достигается максимальная величина вспенивания (см. рис. 2), а интенсивное снижение толщины наступает уже после достижения субстратом предельного времени (при данной толщине покрытия). Но при больших толщинах и, соответственно, более длительном воздействии на покрытия более высокой температуры редукция толщины вспененной массы может снижать их огнезащитную эффективность.

Зависимость величины вспенивания от толщины покрытия

Следующий важный аспект — зависимость величины вспенивания от исходной толщины покрытия. Для состава МК2 толщина вспененного слоя возрастает с увеличением толщины исходного покрытия в изученном интервале от 0,1 до 4,7 мм (рис. 6). Но зависимость эта не прямо пропорциональная, а нелинейная: с увеличением толщины исходного покрытия прирост толщины вспененного слоя снижается. На этом же рисунке показано, что по мере изменения толщины покрытия меняется и коэффициент вспенивания k , рассчитанный по сглаженной кривой толщины вспененного слоя. Причем с ростом толщины исходного покрытия коэффициент вспенивания снижается во всем изученном интервале. В области малых толщин (порядка 0,1 мм) он достигает 70, но с увеличением толщины исходного покрытия примерно до 0,5 мм резко снижается примерно до 30. При дальнейшем увеличении толщины исходного покрытия снижение коэффициента вспенивания продолжается и достигает достаточно малых значений — порядка 10.

Аналогичным образом выглядят зависимости параметров вспенивания от толщины исходного слоя для покрытия Унитерм АДР, только они располагаются в области более высоких значений.

Зависимость времени достижения предельного состояния для стального субстрата от толщины вспененного слоя для обоих покрытий показана на рис. 7,

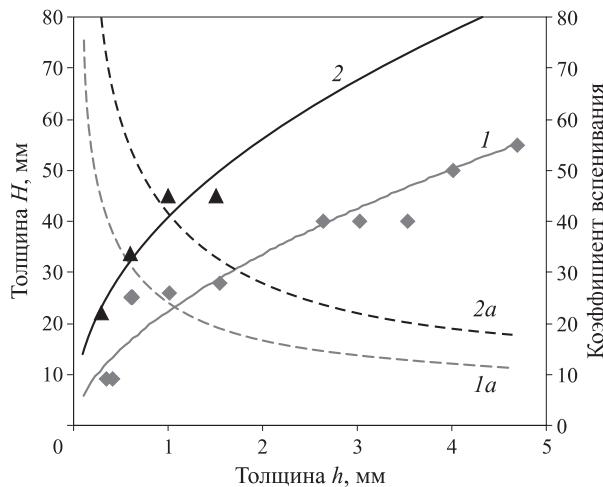


Рис. 6. Изменение общей толщины вспененного слоя H (1, 2) и коэффициента вспенивания k (1a, 2a) в зависимости от толщины исходного покрытия h для составов МК2 (1, 1a) и Унитерм АДР (2, 2a)

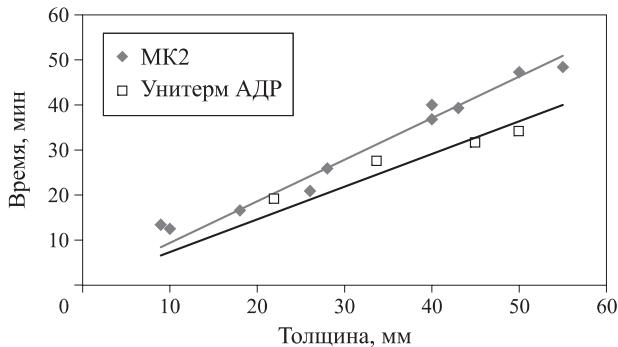


Рис. 7. Зависимость времени достижения стальным субстратом предельного состояния (500°C) от толщины вспененного слоя

из которого видно, что зависимости удовлетворительно аппроксимируются линейными трендами. Для покрытия МК2 1 мм вспененного слоя обеспечивает 0,92 мин огнезащитной эффективности. Как ни странно, Унитерм АДР показывает несколько меньшую эффективность вспененной массы — 0,73 мин на стальном субстрате толщиной 1 мм. Таким образом, материал Унитерм АДР значительно эффективнее материала МК2 при сравнении толщин исходного покрытия, а вот при сравнении толщин вспененного слоя он уступает составу МК2. Почему? Возможно, на этот вопрос даст ответ изучение структуры пен на микроуровне.

Термогравиметрия

Зависимости изменения массы состава МК1 и Унитерм АДР при нагревании показывают (рис. 8), что интенсивная потеря массы, т. е. освобождение газовых и парообразных соединений, обуславливающих вспенивание, начинается с температуры по-

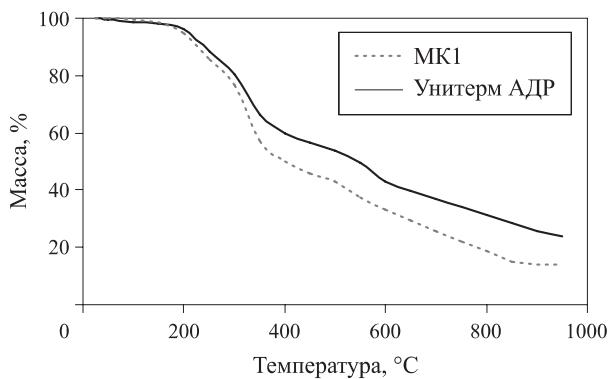


Рис. 8. Термогравиметрия составов МК1 и Унитерм АДР

рядка 200 °C, что совпадает с данными по вспениванию (см. рис. 4). Далее можно выделить два температурных диапазона, отличающихся скоростями деструкции. Внутри этих диапазонов скорость потери массы с некоторым незначительным огрублением можно считать постоянной. Для материала Унитерм АДР в первом диапазоне (200–400 °C) скорость составляет порядка 0,2 %/°C (или 2,0 %/мин), во втором диапазоне (400–800 °C) — 0,1 %/°C (или 1,0 %/мин). А вот при температуре 800 °C и выше скорость потери массы снижается, и можно считать, что термогравиметрическая кривая показывает квазистационарные значения на уровне 30 % (строго говоря, при дальнейшем росте температуры медленное выгорание продолжается). Для состава МК1 температурные интервалы те же, что и для Унитерма АДР, но скорости потери массы несколько выше, а остаточная масса при 800 °C вдвое меньше.

Обсуждение результатов

Прежде всего, отметим, что, исходя из показанной в настоящей работе прямо пропорциональной зависимости между толщиной вспененного слоя и предельным временем огнезащиты, степенную зависимость предельного времени от толщины исходного вспенивающегося покрытия, описанную в [5], можно объяснить нелинейным (степенным) характером вспенивания при варьировании толщины покрытия.

Описанные выше экспериментальные факты роста и последующей редукции толщины вспененного слоя при изучении кинетики, а также уменьшение коэффициента вспенивания с увеличением толщины исходного покрытия могут быть объяснены с единых позиций, а именно: оба эффекта (вспенивание и редукция пены) являются следствием одного процесса — термического разложения вспенивающейся композиции. Они протекают практически синхронно, имеют достаточно близкие кинетические константы, но локализованы в различных частях системы,

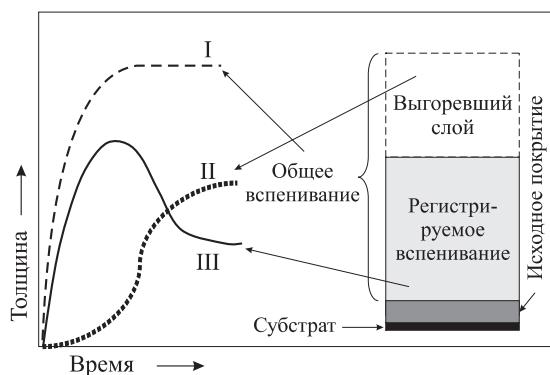


Рис. 9. Схема хода кинетических кривых вспенивания – выгорания и соответствующие им области в сечении вспененного покрытия

разделенных слоем вспененной массы. Процесс вспенивания локализован большей частью в тонком слое превращений δ в исходном покрытии и протекает при температуре превращений T^* , а процесс редукции вспененной массы — преимущественно на внешней поверхности вспененной массы (сначала пенококса, а затем и пенозолы) и протекает при температурах выше T^* . Схема хода кинетических кривых вспенивания – выгорания и соответствующие им области в сечении вспененного покрытия иллюстрируются рис. 9.

Толщина пены (в отсутствие редукции) должна возрастать пропорционально толщине слоя превращений в исходном покрытии и принимать некоторое конечное значение при достижении фронтом превращений границы раздела *покрытие — металл* (кривая I на рис. 9). Редукция вспененной массы может протекать в силу ряда причин: во-первых, вследствие усадки в объеме вспененного слоя; во-вторых, в ходе деструкции вспененного слоя в объеме и выгорания вспененной массы на внешней поверхности (испарения конденсированного вещества с внешней поверхности покрытия), где температура наиболее высокая. По-видимому, все перечисленные процессы могут иметь место, но последний протекает наиболее интенсивно и вносит основной вклад в сокращение толщины вспененного слоя. Скорость изменения толщины выгорающего слоя в неизотермических условиях должна изменяться с ростом температуры в сторону увеличения. Характер кинетической зависимости вспенивания (гладкая парабола на рис. 3) свидетельствует о близости кинетических констант вспенивания и редукции. Если бы вспенивание протекало значительно быстрее редукции, то вместо локального максимума на кинетической кривой наблюдалось бы “плато” той или иной протяженности. Если бы выгорание значительно опережало вспенивание, то вспенивание просто не поддавалось бы регистрации. Гипотетическая зависимость изменения толщины выгорев-

шего слоя представлена на рис. 9 кривой II. Таким образом, можно предположить, что регистрируемая экспериментально толщина вспененного слоя D_t в момент времени t (кривая III) представляет собой суперпозицию двух процессов — собственно вспенивания (H_t) и утончения вспененного слоя (L_t): $D_t = H_t - L_t$.

Начальную часть экспериментальной кинетики вспенивания (до максимального значения) можно описать степенной ($1/2$) зависимостью. Как показано в работе [4], изменение объема вспенивающейся массы V можно описать зависимостью типа $V \approx t^{1/2}$, исходя из предположения о том, что рост размера пенных пузырьков контролируется диффузией газа в пузырек из пересыщенного раствора газа в растворе (расплаве) без учета других эффектов. Но как показывают изложенные здесь результаты, описание объема вспенивающейся массы без учета ее разрушения некорректно.

Рассматривая редукцию (выгорание) вспененного слоя как потери в процессе вспенивания, можно оценить эффективность последнего. Показатель эффективности вспенивания η по аналогии с КПД можно представить как отношение реальной толщины вспененного слоя к гипотетической толщине вспенивания, протекающего без потерь: $\eta = (D_t/H_t) \cdot 100\%$. Оценить величину η в первом приближении достаточно просто: схема определения параметров представлена на рис. 10, по сути повторяющем рис. 3.

Предположим, что в начальной части кинетической кривой можно пренебречь потерями во вспенивании в силу их малости в начале процесса, или, другими словами, на начальной стадии процесса (t мало) наблюдаемое вспенивание D_t равно полному вспениванию H_t без потерь. Тогда, построив касательную к кривой реального вспенивания в начале процесса (предполагаем, что гипотетическое вспенивание развивается пропорционально времени вплоть до максимального значения, достигаемого при выходе фронта превращений к поверхности защищаемого субстрата), можно оценить значение собственно вспенивания H_t на основании касательной.

Значения D_t определяются непосредственно по кривой $D_t(t)$. Сопоставим значения при времени t , соответствующем максимальным значениям D_t . Тогда получим: для состава МК1 — $\eta = 43\%$, для материала Унитерм АДР — $\eta = 42\%$, т. е. очень близкие значения. Таким образом, на основании выполненных оценок можно констатировать, что коэффициент эффективности процесса вспенивания у материалов данного типа составляет порядка 40 %, а потери — порядка 60 %.

Заметим, что рассмотренный здесь подход к качественному описанию процессов во вспенивающихся системах не нов: по меньшей мере, четверть века

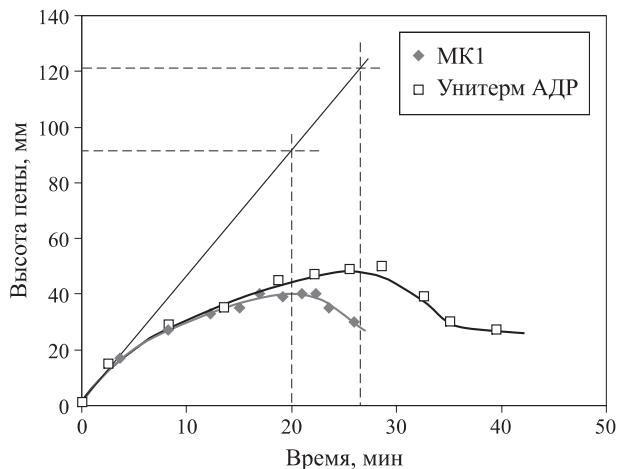


Рис. 10. Схема построений на кинетических кривых вспенивания D_t с целью оценки эффективности процесса

назад Андерсон и Утерс [8] построили количественную модель вспенивания, основанную на потере массы в ходе нагревания вспенивающейся системы, а увеличение объема системы (вспенивание) рассматривали как функцию потери массы. Мы только считаем нужным подчеркнуть: изложенные в данной работе результаты показывают, что разрушение пены происходит одновременно со вспениванием, поэтому закономерности разрушения пены не могут быть проигнорированы при создании общей картины эволюции пен такого типа.

Заключение

Таким образом, эволюция структуры вспенивающихся органо-неорганических покрытий с ростом температуры происходит с реорганизацией на атомном уровне, сопровождающейся перестройкой на макроуровне. Развитие этих превращений протекает в пространстве в виде последовательно развивающихся фронтов (волн) в направлении от внешней поверхности по температурному градиенту.

Первый фронт — это плавление, разложение, взаимодиффузия компонентов, образование парогазовой фазы. Прохождение этого фронта сквозь толщу покрытия обеспечивает собственно вспенивание с образованием мультиячеистой фазы, сопровождающееся увеличением объема, снижением теплопроводности и отъемом тепла. Превращения эти имеют кооперативный характер, их эффективность резко снижается, если физико-химические процессы в силу природы компонентов разделены по времени и температуре, сколь бы эффективными ни казались индивидуальные компоненты. Второй, характерный для данного типа ОНП, фронт проходит уже через вспененную массу — это коксование и твердение пены, т. е. образование собственно пенококса. Третий фронт распространяется через слой пенококса

и озоляет его. Четвертый фронт — удаление (испарение, абляция) вещества с поверхности покрытия, связанное в основном с выгоранием собственно поверхностных слоев и удалением продуктов термодеструкции материала из объема вспененного слоя.

Если первые три процесса развиваются последовательно во времени, то четвертый протекает параллельно со всеми остальными процессами, ускоряясь с ростом температуры. Все эти процессы участвуют в формировании вспененной массы, изменении ее состояния и отражаются в изменении ее теплопроводности и механических свойств.

Описанный выше показатель эффективности процесса вспенивания ОНП не очень высок — порядка 40 % (по аналогии с КПД — на уровне двигателей внутреннего сгорания). В связи с этим уместен следующий вопрос: является ли этот показатель некой физико-химической константой, характерной для данного процесса, в покрытиях данного состава? Если это так (учитывая, что углеводороды — пентаэритрит, поливинилацетат, меламин — практически полностью выгорают к моменту достижения

ния 800 °C), то, очевидно, разработчикам вспенивающихся составов для получения нового класса вспенивающихся материалов следует обратиться к принципиально иным компонентам. Если же это не так, то разработчикам следует уделить больше внимания не составам с более высокими коэффициентами вспенивания (они и без потерь достаточно высоки), а поискам способов уменьшения больших потерь в процессе вспенивания, например, на ингибицию термодеструкции пенококса в процессах озоления и абляции. Однако на основании собственного опыта мы должны предостеречь: задача эта не простая. Действительно, нам удалось добиться с помощью антиприренов существенного повышения остаточной массы, но композиции при этом приобретали существенную текучесть. В любом случае можно констатировать, что ингибиция разложения конденсированной фазы вспененного слоя имеет значение, в особенности при создании систем, предназначенных для обеспечения длительного времени огнестойкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bourbigot S., Le Bras M., Delobel R. Carbonization mechanisms resulting from intumescence association with the ammonium polyphosphate-pentaerythritol fire retardant system // Carbon. — 1993. — Vol. 31, No. 8. — P. 1219–1294.
2. Zhenyu Wang, Enhou Han, Wei Ke. Influence of nano-LDHs on char formation and fire-resistant properties of flame-retardant coating // Progress in Organic Coatings. — 2005. — No. 53. — P. 29–37.
3. Ненахов С. А., Пименова В. П. Физико-химия вспенивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония. Обзор литературы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 8. — С. 11–58.
4. Kathryn M. Butler. A Numerical Model for Combustion of Bubbling Thermoplastic Materials in Microgravity // National Institute of Standards and Technolog. Gaithersburg, MD 20899-8665. — August 2002.
5. Ненахов С. А., Пименова В. П. Экспериментальное изучение влияния толщины вспенивающихся покрытий на огнезащитную эффективность // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 5. — С. 2–9.
6. ГОСТ 30247.0–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования : введ. 01.01.96. — М. : Изд-во стандартов, 1996.
7. Vandersall H. L. Intumescent Coating Systems. Their Development and Chemistry // J. Fire and Flamm. — 1971. — No. 2. — P. 97–140.
8. Anderson Ch. E., Wauters D. K. A thermodynamic heat transfer model for intumescent systems // Int. J. Eng. Sci. — 1984. — Vol. 22, No. 7. — P. 881–889.
9. Charles E. Anderson, JR, Jerome Dziuk, JR, William A. Mallow and John Buckmaster. Intumescent Reaction Mechanisms // Journal of Fire Science. — 1985. — No. 3. — P. 161.

Материал поступил в редакцию 4 июля 2011 г.
Электронный адрес авторов: nenakhov.st@list.ru.



Ф. А. Абдуллаев
адъюнкт Санкт-Петербургского
университета ГПС МЧС РФ,
г. Санкт-Петербург, Россия



Ю. Д. Моторыгин
канд. техн. наук, доцент, профессор
Санкт-Петербургского университета ГПС
МЧС РФ, г. Санкт-Петербург, Россия

УДК 614.841:517.958.536.2

ОПИСАНИЕ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА С ПОМОЩЬЮ ПЕРКОЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Показано, что наряду с детерминированными моделями пожаров можно успешно использовать стохастические перколоационные модели. Перколоационная модель представляет собой модель распространения процесса (в частности, пожара) на двумерной решетке, при котором существует хотя бы один непрерывный путь через соседние проводящие узлы от одного края решетки до противоположного. Такие модели пожара позволяют исследовать развитие пожара на сложных строительных и природных объектах.

Ключевые слова: математическая модель; перколоация; перколоационная модель; развитие пожара.

Пожарная опасность зданий и сооружений определяется не только количеством пожарной нагрузки и ее способностью к горению, но и распределением ее в пространстве. Особенно опасны крупные пожары в лесных массивах и многоэтажных зданиях и сооружениях.

Прогнозирование возникновения и развития горения является одним из самых актуальных вопросов в сфере обеспечения безопасности людей при пожарах и сохранения материальных ресурсов. Пожар — это сложное явление, зависящее от множества физических, химических и случайных факторов. Любой подход в моделировании, будь то физический или математический, представляет огромную и сложную задачу для исследователей. Понятие моделирования пожаров охватывает физико-математическое представление всех процессов, так или иначе связанных с возникновением и развитием пожара, включая воздействие опасных факторов пожара (ОФП) на человека (рис. 1), поведение людей в экстремальных ситуациях, стратегию и тактику пожаротушения, оценку потенциального и фактического ущерба от пожара. На сегодняшний день моделирование процессов горения ассоциируется с математическими детерминированными моделями. Наряду с этим существует недетерминированный подход к исследованию пожаров, использующий стохастическое описание зависимости развития процессов горения от структуры пожарной нагрузки.

При исследовании пожара дознаватель или технический специалист так или иначе сталкивается с

необходимостью моделирования его развития [1]. Специфика расследования пожара такова, что проведение экспертизы, особенно крупных и сложных объектов, требует большого количества справочной информации, расчетных методов и моделирования конкретных ситуаций. Однако в настоящее время отмечается недостаточность информации, необходимой для проведения экспертизы пожаров, в том числе методов расчетного обоснования причин пожаров. Учитывая данное обстоятельство, можно сделать вывод о необходимости выбора расчетных методов и математических моделей для исследования возникновения и распространения пожара.

Модели пожара в помещении условно делятся на три класса — интегральные, зонные и полевые. Существующие детерминированные математические модели пожаров (интегральные, зонные и полевые) вводят большое количество допущений, усреднений и приближений, чтобы с помощью диф-

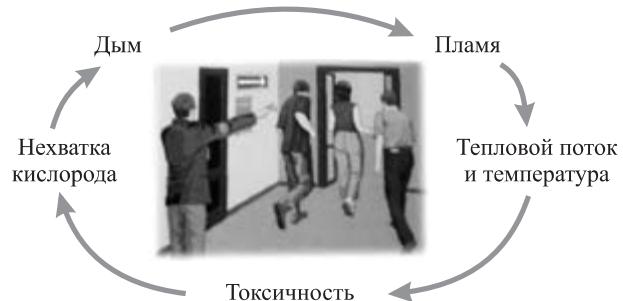


Рис. 1. Иллюстрация основных опасных факторов пожара

ференциальных уравнений по возможности адекватно описать процесс распространения пожара.

Интегральная модель пожара [2, 3] является наиболее простой. Она позволяет получить информацию о средних значениях параметров состояния среды в помещении для любого момента развития пожара. При этом, для того чтобы сопоставлять среднеобъемные параметры среды с их предельными значениями в зоне пожара, используются эмпирические формулы, полученные на основе экспериментальных исследований пространственного распределения температур, концентраций продуктов горения, оптической плотности дыма и т. п.

Однако интегральная модель не позволяет моделировать локальные пожары, т. е. не достигшие стадии полного охвата пламенем помещения. Кроме того, в реальной ситуации существенное влияние на развитие горения оказывают состав и распределение пожарной нагрузки, конвективные потоки и пространственная структура помещения.

Зонная модель пожара [2, 3] позволяет получать информацию о размерах характерных пространственных зон, возникающих при пожаре в помещении, и средних параметрах состояния среды в них. В качестве характерных пространственных зон можно выделить, например, в начальной стадии пожара припотолочную область пространства, область восходящего над очагом горения потока нагретых газов и область притока в очаговую зону окислителя, незадымленную холодную часть пространства. Следует отметить, что при разработке таких моделей приходится делать большое количество допущений и упрощений, основанных на изначальных предположениях об изменениях границ выбранных зон.

Недостатком модели является то, что она позволяет исследовать пожары в помещениях только с ярко выраженным границами достаточно однородных конвективных потоков. На практике часто оказывается, что полученных при использовании этой модели данных недостаточно для решения задач обеспечения пожарной безопасности.

В полевых моделях пожара [4] вместо одной или нескольких больших зон выделяется большое количество (обычно тысячи или десятки тысяч) небольших контрольных объемов, никак не связанных с предполагаемой структурой потока. Для каждого из этих объемов с помощью численных методов решается система уравнений в частных производных, опирающихся на локальное сохранение импульса, энергии и массы компонентов. Однако система уравнений, описывающих изменения во времени указанных параметров газовой среды в каждой точке пространства внутри помещения, чрезвычайно громоздка и под множеством численных значений теряется сама физика происходящих процессов. Ма-

лейшая ошибка на каком-либо шаге вычислений может привести в конечном счете к большим погрешностям или неверным окончательным решениям.

Так или иначе, при решении систем дифференциальных уравнений используется приближение идеального газа. В противном случае система дифференциальных уравнений либо не имеет решения, либо оно становится практически невозможным.

Наряду с детерминированными моделями пожара существуют стохастические модели, которые позволяют учесть случайный фактор возникновения и развития пожара [5]. Во многих случаях при анализе процессов, происходящих при пожаре, можно получить более реалистическую и точную модель развития горения. Поэтому для описания развития и распространения пожара в лесных массивах и на строительных объектах будет рассмотрено моделирование пожара с применением перколяционного процесса.

Основные идеи теории перколяции были сформулированы в 1957 г. Бродбентом и Хаммерсли [6]. Бродбент занимался разработкой противогазовых масок. Основной элемент маски — уголь, предназначенный для фильтрации проходящего через него воздуха. Уголь содержит поры, соединенные друг с другом таким образом, что смесь отравляющих газов и воздуха проходит через сложный лабиринт. Оказалось, что если поры достаточно широки и хорошо связаны друг с другом, то газ проникает в глубь угольного фильтра. В противоположном случае воздух не проникает дальше поверхности угля, и поглощения вредных веществ не происходит. Движение газа по лабиринту пор представляет собой процесс, существенно отличающийся от явления диффузии. Бродбент привлек к решению этой проблемы математика Хаммерсли. Они назвали такие явления “процессами протекания” (percolation processes). Теория, изучающая такого рода явления, стала называться “теорией протекания, или перколяцией”.

Таким образом, перколяция представляет собой распространение процесса в среде, при котором существует хотя бы один непрерывный путь через соседние проводящие узлы от одного края до противоположного. Перколяционный процесс горения существует, если есть, по крайней мере, один непрерывный путь распространения пожара из одного конца объекта к другому. Эта модель может быть представлена на двумерной решетке (рис. 2). Путь, представленный толстой линией, указывает на то, что система выше порога среды.

Принято считать, что в перколяционном процессе связи каждого элемента носят случайный характер. При этом хаотичность (случайность) — это свойство пространства, в котором объект переме-

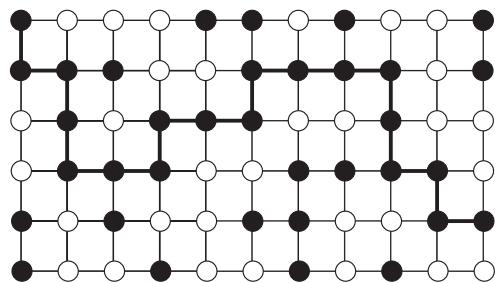


Рис. 2. Пример перколяционного процесса

щается. Процесс перколяции описан стохастической областью в пространстве, векторной областью переходных чисел.

Бродбент и Хаммерсли [6] рассматривали блуждание процесса на графе, состоящем из определенного количества соединенных между собой узлов с направленными “связями”. Переход возможен только по таким “связям”. Если такой граф подчиняется определенным законам, то его называют кластером. Распространение пожара в среде может произойти только через направленные связи. Пожар рассматривают как развивающийся процесс в среде, который имеет случайное свойство.

В качестве примера можно рассмотреть садоводческий поселок, в котором дома расположены на определенной площади и отделены друг от друга случайным образом [7, 8]. При возникновении пожара дома будут связаны направленными связями, характеризующими распространение пожара. У каждой связи есть независимая вероятность блокирования или предотвращения распространения пожара, зависящая от конструктивных особенностей здания, условий ветра и расстояния между зданиями. Проблема протекания также возникает при рассмотрении процесса на решетке, некоторые из связей которой выбраны случайным образом. Тогда процесс пожара может быть прерван случайным обрывом связи. Такая проблема может возникнуть и при прогнозировании распространения пожара, особенно в лесном массиве или от здания к зданию на частных участках, в деревнях, садоводческих и дачных поселках (рис. 3).

Как известно, лето 2010 г. оказалось крайне неблагоприятным в центральных и прилегающих к ним областях Европейской части России. В конце июля, августе и начале сентября на всей территории сначала Центрального федерального округа, а затем и в других регионах России возникла сложная пожарная обстановка из-за аномальной жары и отсутствия осадков. По состоянию на начало августа 2010 г. в России пожарами было охвачено около 200 тыс. га в 20 регионах (Центральная Россия, Поволжье, Чукотка, Дагестан). В Рязанской области огнем было уничтожено 233 жилых дома, 532 человека остались

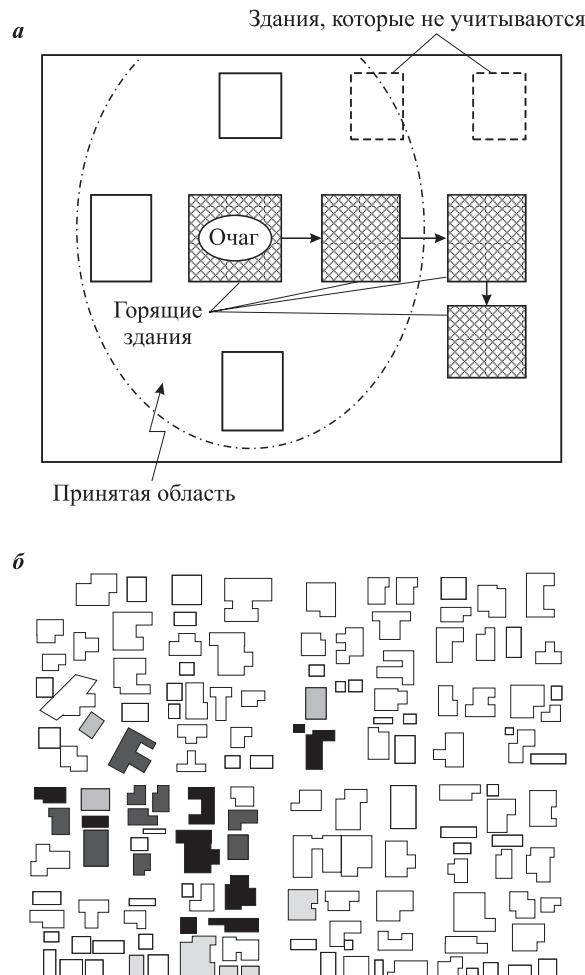


Рис. 3. Распространение пожара от здания к зданию: *а* — развитие пожара; *б* — схематическое представление деревни



Рис. 4. Деревня Требухино Рязанской области

без крова. В деревнях Передельцы и Требухино Рязанской области не осталось ни одного дома, ни одного строения (рис. 4): огонь уничтожил все на своем пути.

Для анализа были взяты именно эти деревни. Дома в деревне по классу горючести можно разделить на следующие типы: деревянные постройки

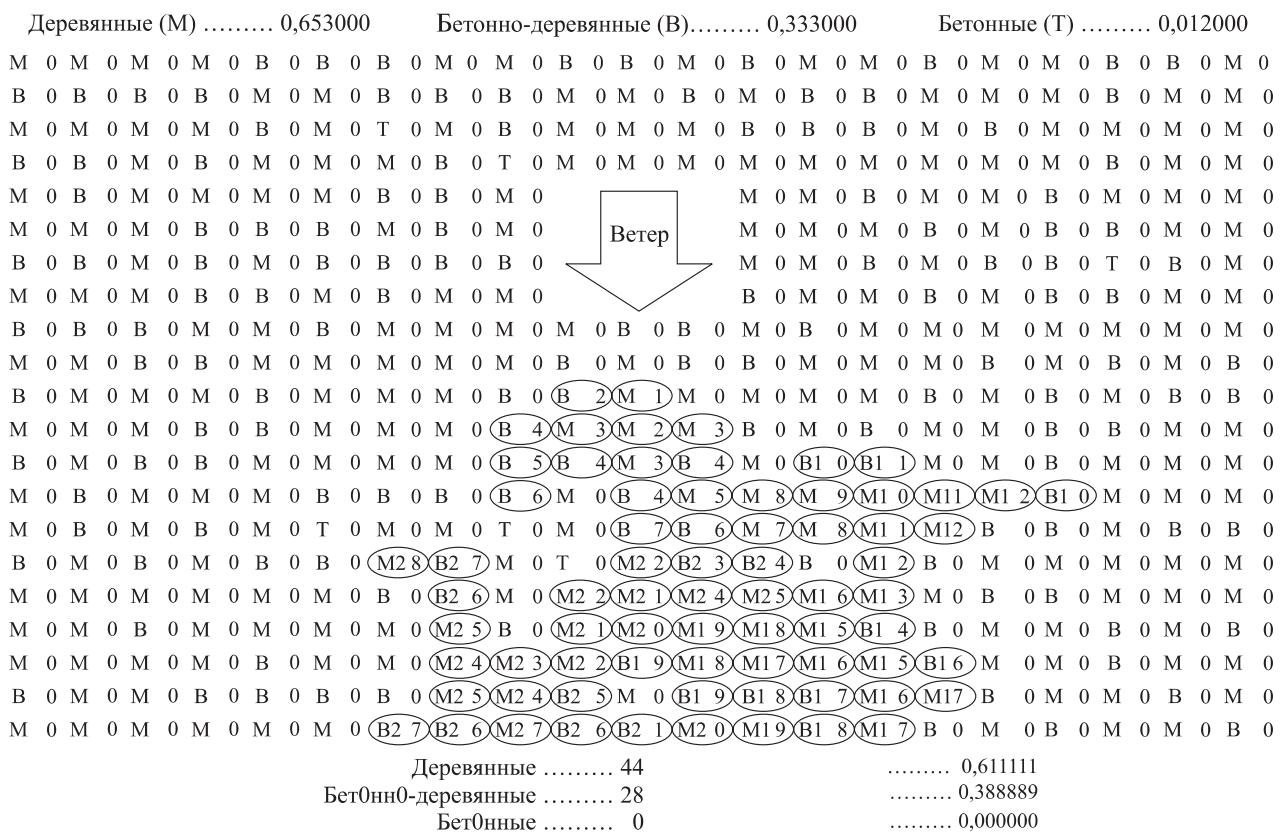


Рис. 5. Пример моделирования развития пожара: цифра “0” соответствует состоянию, когда горение не произошло, остальные цифры — порядку итерации развития пожара. На 17-м шаге вычислений пожар достигает края деревни. Всего рассмотрено 28 итераций

(конструкции), бетонные постройки с деревянной отделкой (бетонно-деревянные конструкции с медленным горением) и полностью бетонные здания (негорючий материал) (рис. 5).

Скорость ветра также была подразделена на две группы: от 0 до 2,5 м/с и от 2,6 до 5,0 м/с.

Чтобы провести моделирование, дома условно были расположены на квадратной решетке. Для моделирования было принято: количество домов — 441 (21×21); распространение пожара возможно только в направлении к соседним домам; пожар начинается в центре (11, 11). Порядок вычислений заключался в следующем:

- 1) описание расположения домов случайными числами;
- 2) учет вероятности распространения пожара на соседние дома;
- 3) описание возможности распространения пожара от первого загоревшегося дома до соседних домов случайными числами;
- 4) учет последовательности распространения пожара от горящих домов;
- 5) повторение вычислений.

Анализ показал, что количество и структура пожарной нагрузки стали основным фактором, обуславливающим распространение пожара (см. таблицу).

Вероятность распространения пожара носит условный характер и зависит от погодных условий, места и времени. Таким образом, моделирование с учетом вероятности распространения пожара не всегда согласуется с реальным пожаром. Эти особенности делают результаты моделирования доступными для относительного сравнения пожарной опасности по регионам.

При определении оценки пожарной опасности, развития процесса распространения пожара в постройках сельского типа рассматривались две проблемы. Для решения первой принимали во внимание факторы, влияющие на развитие распространения пожара. Вторая проблема была связана с точностью обработки данных.

Пожар на большой территории — это сложное явление, в котором многие физические и химические процессы взаимодействуют, поэтому абсолютно точную модель получить практически невозможно. Более того, возможность разработки такой модели в ближайшем будущем маловероятна.

Известные вероятностные модели [9] имеют ряд недостатков. Одним из недостатков является то, что эти модели не могут описать динамику развития пожара. Для учета динамики развития горения можно использовать стохастические модели на осно-

Вероятность распространения пожара при скорости ветра 0–2,5 м/с (пример из анализа)

Тип постройки и на-правление распро-странения пожара	Показатель	Расстояние до соседних домов, м					
		0–1,0	1,1–2,0	2,1–3,0	3,1–4,0	4,1–5,0	5,1–6,0
Деревянная	Количество горящих домов	95	51	30	26	15	11
↓	Количество негорящих домов	19	25	24	14	16	13
Деревянная	Вероятность распространения пожара	0,83	0,67	0,56	0,65	0,48	0,46
Деревянная	Количество горящих домов	31	21	11	15	6	3
↓	Количество негорящих домов	10	8	8	9	9	11
Б/д*	Вероятность распространения пожара	0,76	0,72	0,58	0,63	0,40	0,27
Б/д	Количество горящих домов	15	8	5	3	1	1
↓	Количество негорящих домов	9	11	10	8	11	11
Деревянная	Вероятность распространения пожара	0,63	0,42	0,33	0,27	0,09	0,09
Б/д	Количество горящих домов	38	18	10	3	1	0
↓	Количество негорящих домов	17	22	11	10	14	7
Б/д	Вероятность распространения пожара	0,69	0,45	0,48	0,23	0,07	0,00

* Б/д — бетонно-деревянная.

ве конечных цепей Маркова [10]. Однако они не позволяют рассчитывать предельные значения внешних параметров, при которых возможно распространение пожара. Зато это позволяют сделать переколационные модели.

В переколационной модели территории, на которой расположена деревня, представлена как система горючих (воспламеняющихся при внешнем термическом воздействии) участков (узлов), распределенных в пространстве. Возможные состояния различных (отдельных) участков (узлов) и переходы между этими состояниями приведены на рис. 6. Вероятность перехода к состоянию горения либо от состояния возникновения пожара, либо от состояния распространения пожара называют вероятностью возгорания. Вероятность перехода из негорящего состояния к состоянию распространения пожара на другие участки называют вероятностью распространения пожара. Расположение состояний в любой момент может полностью определить состояние каждого участка.

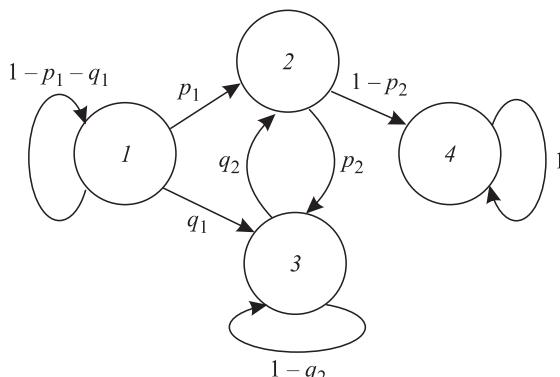


Рис. 6. Граф вероятностей горения и распространения пожара

В предложенной модели развития пожара вершине 1 соответствует источник зажигания. Он может с вероятностью p_1 создать режим плавления, что соответствует вершине 2, с вероятностью q_1 привести к пламенному горению (вершина 3) или продолжать нагревать пожарную нагрузку с вероятностью $(1 - p_1 - q_1)$. Режим плавления (вершина 2) может перейти в пламенное горение с вероятностью p_2 или полностью затухнуть (вершина 4) с вероятностью $(1 - p_2)$. Пламенное горение (вершина 3) может перейти в режим плавления с вероятностью q_2 или в устойчивое пламенное горение с вероятностью $(1 - q_2)$. Режим прекращения горения (вершина 4) является поглощающим.

Матрица переходных вероятностей будет выглядеть следующим образом:

$$P = \begin{vmatrix} 1 - p_1 - q_1 & p_1 & q_1 & 0 \\ 0 & 0 & p_2 & 1 - p_2 \\ 0 & q_2 & 1 - q_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

где номер строки обозначает состояние, из которого происходит переход, а номер столбца — состояние, в которое процесс переходит.

Удобно придать матрице P несколько иной — канонический вид, объединив все эргодические состояния в одну группу и все невозвратные состояния — в другую. Тогда каноническая форма [3] матрицы переходных состояний будет иметь вид:

$$P = \begin{pmatrix} S & : & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ R & : & Q \end{pmatrix}.$$

Из теории марковских цепей следует, что среднее время, в течение которого процесс находится в

каждом состоянии, всегда конечно и что эти средние времена определяются матрицей N , где

$$N = (I - Q)^{-1}.$$

Вероятность прекращения пожара или перехода его в следующий режим определяется матрицей

$$B = N R.$$

Среднее время нахождения в каждом состоянии можно найти из матрицы

$$\tau = N E.$$

Распространение пожара на территории, на которой расположен поселок сельского типа, происходит следующим образом. Участок, на котором возникает горение, рассматривается как очаг пожара. Причем возгорание на этом участке происходит с определенной вероятностью. Далее пламя может распространяться на еще не горящие участки также с определенной вероятностью. Таким образом, участки, участвующие в процессе горения, будут выступать в дальнейшем в качестве источников зажигания. Если вероятность возгорания и вероятность распространения пожара достаточно большие, то пожар распространится через всю систему (среду).

Как правило, основной причиной распространения пожара является повышение температуры в результате лучистого теплообмена в период активного горения. Количество теплового излучения, выделившегося в единицу времени, зависит от мощности источника зажигания. Так, время, необходимое для воспламенения, будет возрастать с уменьшением количества тепла, полученного в единицу времени. Если отношение теплового потока к исходной температуре объекта будет относительно маленьким, то для воспламенения еще не горящего участка потребуется гораздо больше времени.

Другим фактором распространения пожара являются искры. Количество искр зависит от множества случайных параметров, таких как территориальное расположение горючих объектов, природные и погодные условия. Поскольку эти признаки не могут быть определены с достаточной точностью, следует рассматривать время развития пожара как непрерывную случайную величину.

Рассмотрим процесс распространения пожара на конкретном участке с определенными погодными условиями, без учета пожаротушения. Предположим, что в начальный момент времени на всех участках горения не наблюдалось.

Факторами, влияющими на вероятность воспламенения и распространения пожара, на которых основано это моделирование, являются:

- 1) расположение и физические свойства участков;
- 2) погодные условия.

Первый фактор представлен в виде решетки, моделирующей сельскую местность (территорию). Второй фактор используется в качестве входных данных (характеристик) вместе с другими данными, такими как число временных интервалов и т. п. Вероятности определяются на основе этих факторов в виде таблицы вероятностей.

Узлы на решетке — это пожарная нагрузка, которая соответствует исследуемым участкам. Эти узлы соединены между собой связями. Связи могут быть двух классов. Одни из них соединяют участки, между которыми существует вероятность того, что огонь будет переноситься (передаваться) в результате лучистого теплообмена. Связи другого класса соединяют участки, между которыми огонь будет распространяться посредством искр, при этом расстояние будет больше, чем при передаче тепла лучистым теплообменом.

В процессе моделирования было выполнено два эксперимента: сначала — на схематическом плане деревни, а затем — и на реальном плане. Их целями были:

- 1) удостовериться в том, что предложенная модель применима и является достаточной для описания распространения пожара (протекание процесса);
- 2) проверить практическую применимость модели для реальной деревни.

Схематический план деревни

Область (площадь), на которой должно было быть выполнено моделирование, была условно разрезана на квадраты, каждый из которых рассматривался как горящий участок. Предполагалось, что каждый квадрат включает одно здание, для которого определен его тип (деревянное, бетонно-деревянное или бетонное). Связи существуют непосредственно (в отличие от диагонального соединения) между соседними квадратами.

Моделирование проводилось для двух различных ситуаций:

ситуация 1: во всех квадратах — деревянные здания;

ситуация 2: наряду с деревянными присутствует несколько бетонных зданий.

Кроме того, квадраты, содержащие бетонные здания, были расположены так, что могли выступать в качестве огнезаграждения. Все условия, кроме типа зданий, были одинаковыми для обеих ситуаций.

Как видно из рис. 7, пожар прекратился сам по себе, даже при том что не было предпринято никаких противопожарных мероприятий. Кроме того, на рис. 7 видна негорящая область, окруженная горящими участками. Эти явления, как известно, встречаются при распространении реального пожа-

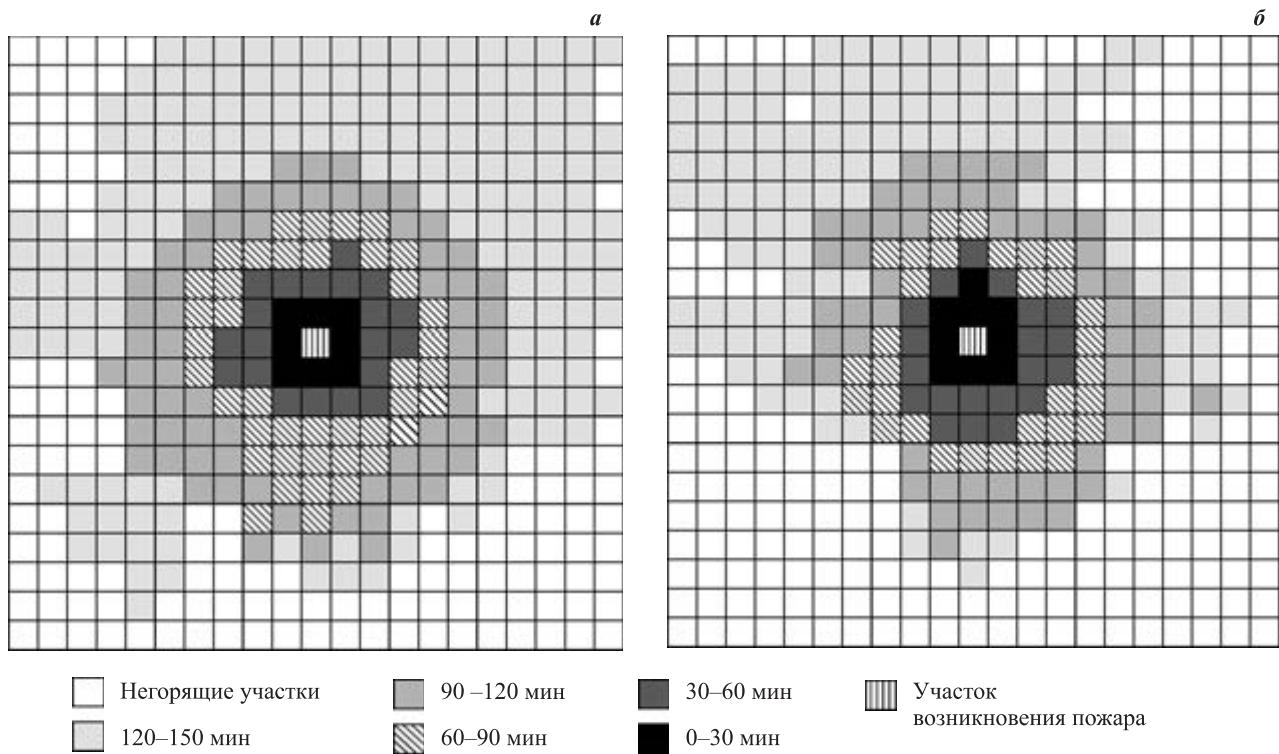


Рис. 7. Развитие пожара во времени: *a* — ситуация 1; *б* — ситуация 2



Рис. 8. Пример расположения домов с улицами, разделяющими дома (*a*), и без улиц (*б*)

ра. Ни существующие детерминированные модели, ни другие стохастические модели, например модель диффузионного процесса, не могут описать эти явления. В то время как перколяционная модель способна это сделать, что является одним из ее главных преимуществ.

Реальный план деревни

Эксперимент был выполнен на модели территории реальной деревни, общая площадь которой составляла 34 км², а количество домов — 149. Дома рассматривались как горящие участки.

Моделирование проводилось для двух ситуаций, различие которых заключалось в расположении домов. В ситуации 1 их расположение соответствовало реальному. В ситуации 2 было принято, что все улицы будут сужены (рис. 8).

Пример моделирования процесса распространения пожара показан на рис. 9 для случая, когда пожар начинает развиваться в одном из домов в нулевой момент времени. Как и на рис. 8, на рис. 9 видны негорящие дома, окруженные горящими зданиями.

На рис. 10 показано влияние улиц, пересекающих поселок, на среднее время распространения пожара.

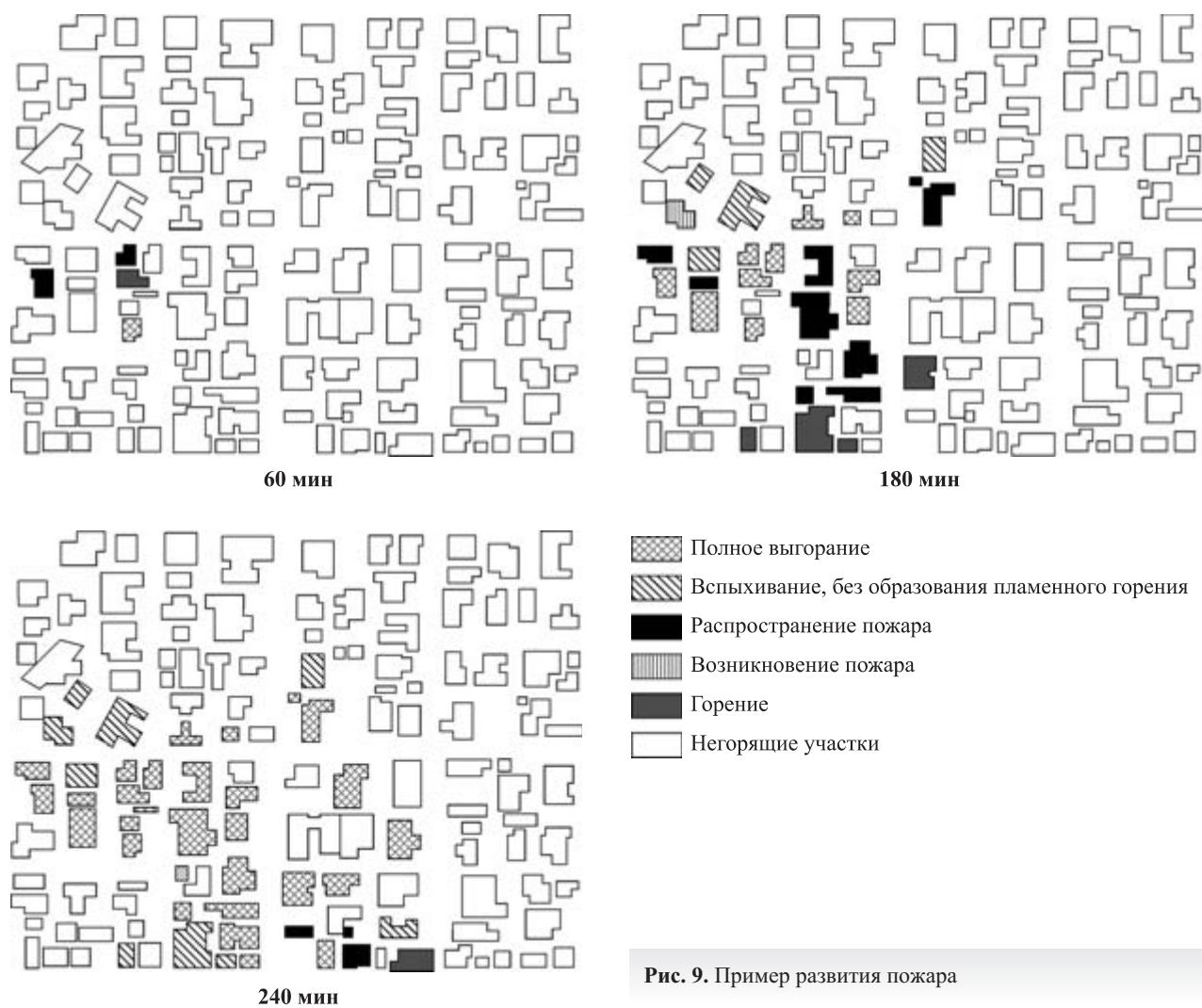


Рис. 9. Пример развития пожара

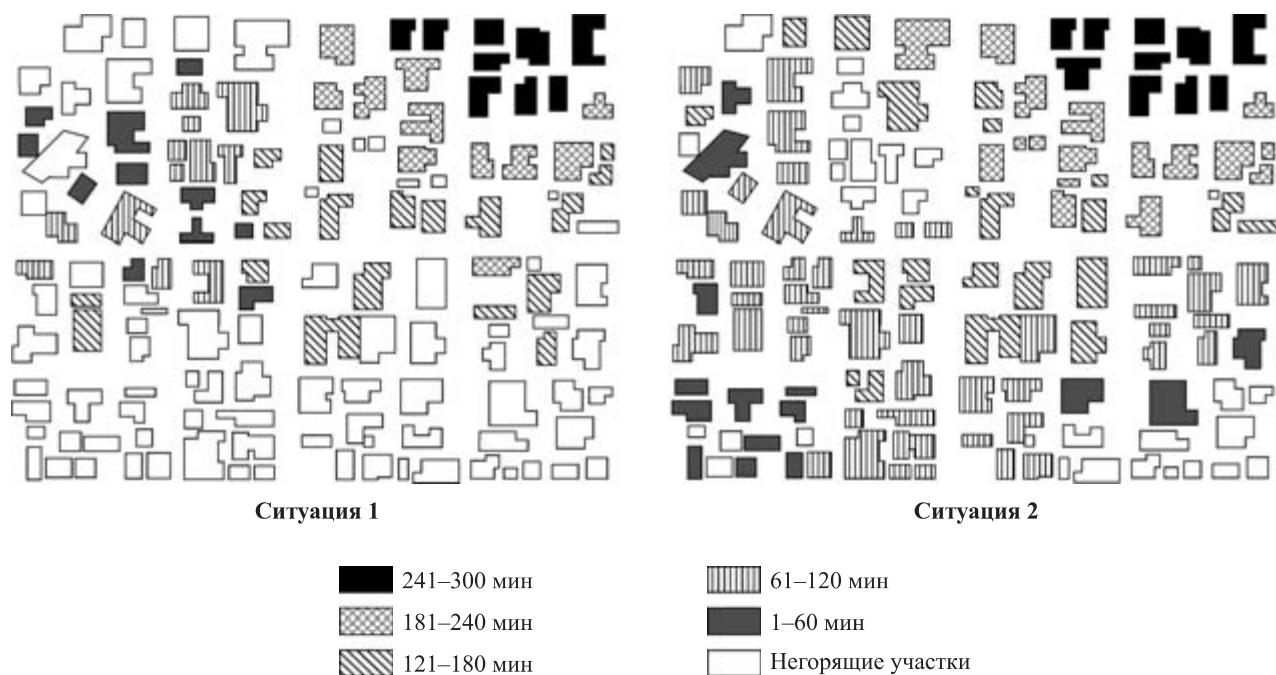


Рис. 10. Влияние улиц, пересекающих поселок, на среднее время распространения пожара

Можно видеть, что улицы служат своеобразным барьером для распространения огня, т. е. мешают пожару нормально развиваться.

Выходы

Перколяционное моделирование позволяет рас-считать пределы вероятностей распространения го-

рения для связанных со временем случайных переменных (величин), таких как, например, число горящих участков в определенный момент времени, время воспламенения отдельных участков, и т. д. Такая информация важна для планирования необходимых противопожарных мер и особенно для разработки планов эвакуации и стратегии пожаротушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). — СПб : СПБИПБ МВД РФ, 1997. — 562 с.
2. Моторыгин Ю. Д., Ловчиков В. А. Прогнозирование опасных факторов пожара / Лабораторный практикум. — СПб : СПб Университет ГПС МЧС России, 2008.
3. Артамонов В. С., Галишев М. А., Моторыгин Ю. Д., Уткин Н. И., Чешко И. Д., Шарапов С. В. Расследование пожаров : учебник. — СПб, 2007. — 500 с.
4. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях : методические рекомендации. — М. : ВНИИПО, 2003. — 35 с.
5. Моторыгин Ю. Д., Абраузумов О. В. Стохастические методы пожарно-технической экспертизы в установлении причины возникновения горения при расследовании пожаров на автотранспорте // Сервис безопасности в России : матер. Междунар. науч.-практ. конф. — СПб : СПб институт ГПС МЧС России, 2009.
6. Broadbent S. R., Hammersley J. M. Percolation Processes. 1. Crystals and Mazes // Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. — 1957. — Vol. 53. — P. 629–641.
7. Abdulaliev F. A., Motorygin Y. D. Description of fire development by percolation models // Safety engineering (Fire, Environment, Work environment, Integrated risk) : Proceedings of International Scientific Conference. Novi Sad, Republic Serbia, 2010. — P. 563–567.
8. Абдулалиев Ф. А., Моторыгин Ю. Д. Разработка перколяционной модели развития пожара // Проблемы обеспечения взрывобезопасности и противодействия терроризму : Труды V Всеросс. конф. — СПб, 2010. — С. 108–113.
9. Ramachandran G. Non-Deterministic Modeling of Fire Spread // Journal of Fire Protection Engineering. — 1991. — Vol. 3, No. 2. — P. 37–48.
10. Моделирование процессов развития горения пожарной нагрузки с помощью конечных цепей Маркова / А. И. Подрезова, Ю. Д. Моторыгин, В. А. Ловчиков, И. А. Пешков // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2011. — Т. 7, № 3.

*Материал поступил в редакцию 14 июня 2011 г.
Электронные адреса авторов: hasfarid@inbox.ru;
udm@gema-peter.ru.*



Н. В. Барановский

канд. физ.-мат. наук, докторант Национального исследовательского Томского политехнического университета, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета, г. Томск, Россия

УДК 533.6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЖИГАНИЯ СЛОЯ ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА СФОКУСИРОВАННЫМ ПОТОКОМ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Проведен анализ условий зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения. Сценарий моделирования соответствует возникновению очага лесного пожара в результате воздействия на слой лесного горючего материала (ЛГМ) сфокусированного потока солнечного излучения. Проведены сценарные расчеты с учетом различной интенсивности излучения. Представлены рекомендации по дальнейшему развитию этой компоненты детерминированной модели.

Ключевые слова: зажигание; лесной горючий материал; химическая реакция; стекло; сфокусированное солнечное излучение.

Введение

Причины возникновения лесных пожаров достаточно разнообразны [1] и могут иметь как антропогенное, так и природное происхождение. Однако в статистических данных заметная доля пожаров фигурирует с формулировкой “причина возникновения не установлена” [1] или “по вине человека”, причем последний вариант используется достаточно часто, если истинная причина возгорания неизвестна. Так, нередко в средствах массовой информации все причины пожаров разделяют на две группы: “следствие грозовой активности” и “по вине человека”. При таком подходе к оценке причин возникновения пожаров трудно разрабатывать конкретные мероприятия по предотвращению лесных пожаров. В то же время согласно правилам пожарной безопасности в лесах запрещается разбрасывать стеклянные бутылки [2, 3], так как они или их осколки могут фокусировать солнечное излучение и тем самым стать причиной возгорания ЛГМ.

В последние годы интенсивно развивается теория детерминированно-вероятностного прогноза лесной пожарной опасности [4–6]. Детерминированные компоненты этой теории представлены математическими моделями зажигания ЛГМ, описывающими достаточно подробно физико-химические процессы тепломассопереноса, которые предшествуют непосредственному возгоранию [7–9]. Но в работах [7–9] рассмотрены в качестве источников нагрева ЛГМ только грозовые разряды [7, 8] и нагретые до

высоких температур частицы [9]. До настоящего времени теоретический анализ условий возгорания ЛГМ под действием солнечного излучения не проводился. В частности, нет достоверных оценок минимальных значений радиационных тепловых потоков, при которых возможно зажигание, например, сухой хвои. В связи с этим для мониторинга и прогноза лесных пожаров по таким неочевидным причинам, как сфокусированное солнечное излучение, необходима разработка соответствующих методик прогноза на основе детерминированных моделей зажигания ЛГМ радиационным тепловым потоком.

Цель исследования — численное моделирование условий зажигания слоя ЛГМ в результате воздействия сфокусированного потока солнечного излучения.

Физическая модель

В настоящей работе рассматривается сценарий катастрофической пожарной опасности, при котором влага в ЛГМ отсутствует. События 2010 г. в европейской части России показали, что разработка таких моделей имеет высокий уровень актуальности.

Принята следующая схема исследуемого процесса. На подстилающей поверхности расположен слой ЛГМ, на малом участке которого фокусируется поток солнечного излучения. Процессы, происходящие в фокусирующем элементе, не моделируются в связи с отсутствием как экспериментальных данных, так и результатов теоретических исследо-

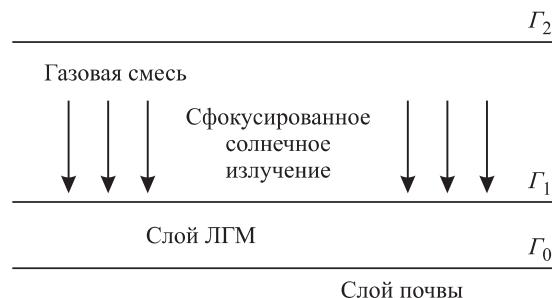


Рис. 1. Геометрия области решения задачи: Γ , Γ_0 , Γ_1 — границы областей и слоев

ваний по этой проблеме. Слой ЛГМ нагревается и термически разлагается с образованием газообразных продуктов пиролиза. Состав газовой смеси принимается трехкомпонентным (горючее — моноксид углерода; окислитель — кислород; инертные компоненты). Продукты пиролиза диффундируют в область газовой смеси, при этом при определенных температуре и концентрациях реагирующих газов происходит ее зажигание.

Приняты следующие критерии зажигания:

1) теплоприход от химической реакции превышает тепловой поток от нагретой поверхности в область газовой смеси;

2) температура в газовой смеси достигает критического значения.

На рис. 1 представлена геометрия области решения задачи.

Математическая модель

Процесс воспламенения слоя ЛГМ сфокусированным потоком солнечного излучения описывается системой одномерных нестационарных нелинейных уравнений теплопроводности и диффузии (1)–(2), (8), (12) с соответствующими начальными и граничными условиями. Численная реализация проведена с использованием конечно-разностного метода [10]. Разностные аналоги одномерных уравнений теплопроводности и диффузии решены методом прогонки в сочетании с методом простой итерации [10]. Алгоритм программы был протестирован на различных задачах теплопроводности [11].

Уравнение энергии для слоя ЛГМ:

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} + q_p k_1 \rho_3 \varphi \exp\left(-\frac{E_1}{RT_1}\right). \quad (1)$$

Уравнение энергии для газовой смеси:

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} + q_5 (1 - v_5) R_5. \quad (2)$$

Границные условия для уравнений (1)–(2):

$$\Gamma_0: \quad \alpha_1 (T - T_{es}) = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z}; \quad (3)$$

$$\Gamma_1: \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} + q_s, \quad T_1 = T_2; \quad (4)$$

$$\Gamma_2: \quad \alpha_2 (T_{ea} - T) = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z}. \quad (5)$$

Начальные условия для уравнений (1)–(2):

$$T_i|_{t=0} = T_{i0}, \quad i = 1, 2. \quad (6)$$

Кинетическое уравнение и начальное условие:

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi}{\partial t} = -k_1 \rho_1 \varphi \exp\left(-\frac{E_1}{RT_1}\right), \quad \varphi|_{t=0} = \varphi_0. \quad (7)$$

Уравнение диффузии для окислителя:

$$\frac{\partial C_4}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_4}{\partial z^2} - \frac{M_4}{M_5} R_5. \quad (8)$$

Границные условия для уравнения (8):

$$\Gamma_1: \quad \rho D \frac{\partial C_4}{\partial z} = 0; \quad (9)$$

$$\Gamma_2: \quad \rho D \frac{\partial C_4}{\partial z} = 0. \quad (10)$$

Начальное условие для уравнения (8):

$$C_4|_{t=0} = C_{40}. \quad (11)$$

Уравнение диффузии для горючих компонент пиролиза:

$$\frac{\partial C_5}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C_5}{\partial z^2} - R_5. \quad (12)$$

Границные условия для уравнения (12):

$$\Gamma_1: \quad \rho D \frac{\partial C_5}{\partial z} = Y_5; \quad (13)$$

$$\Gamma_2: \quad \rho D \frac{\partial C_5}{\partial z} = 0. \quad (14)$$

Начальное условие для уравнения (12):

$$C_5|_{t=0} = C_{50}. \quad (15)$$

Уравнение баланса массы:

$$\sum_{i=4}^6 C_i = 1. \quad (16)$$

Начальное условие для уравнения (16):

$$C_6|_{t=0} = C_{60}. \quad (17)$$

Выражение для массовой скорости реакции R_5 примет вид [8]:

$$R_5 = k_5 M_5 T^{-2,25} \exp\left(-\frac{E_5}{RT_1}\right) \begin{cases} x_1^{0,25} x_2, & x_1 > 0,05; \\ x_1 x_2, & x_1 \leq 0,05; \end{cases} \quad (18)$$

$$x_i = \frac{C_i}{\sum_{k=4}^6 \frac{C_k}{M_k} M_i}. \quad (19)$$

В уравнениях (1)–(19): T_i , ρ_i , c_i , λ_i — температура, плотность, теплоемкость, теплопроводность (1 — слоя ЛГМ, 2 — воздуха); t — временная координата

та; z — пространственная координата; q_p — тепловой эффект реакции пиролиза ЛГМ; k_1 — предэкспонента реакции пиролиза ЛГМ; ϕ — объемная доля сухого органического вещества ЛГМ; E_1 — энергия активации реакции пиролиза ЛГМ; R — универсальная газовая постоянная; q_5 — тепловой эффект реакции окисления оксида углерода; v_5 — доля теплоты, поглощенная слоем ЛГМ; R_5 — массовая скорость реакции окисления оксида углерода; α_1, α_2 — коэффициенты теплопередачи и теплоотдачи; q_s — поток сфокусированного солнечного излучения; $C_i, M_i (C_k, M_k)$ — концентрация и молярная масса (4 — окислителя, 5 — горючего газа, 6 — инертных компонентов воздуха); D — коэффициент диффузии; Y_5 — поток массы горючих продуктов пиролиза; k_5 — предэкспонента реакции окисления оксида углерода; E_5 — энергия активации реакции окисления оксида углерода; x_i — вспомогательная переменная; $es, ea, 0$ — индексы, соответствующие параметрам окружающей среды для почвы, воздуха и в начальный момент времени.

При численном моделировании использованы следующие исходные данные: $\rho_1 = 500 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\rho_2 = 0,1 \text{ кг}/\text{м}^3$; $c_1 = 1400 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $c_2 = 1200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $\lambda_1 = 0,102 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $\lambda_2 = 0,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $q_p = 1000 \text{ Дж}/\text{кг}$; $k_1 = 3,63 \cdot 10^4$; $E_1/R = 9400 \text{ К}$; $\phi_{1,0} = 1$; $q_5 = 10^7 \text{ Дж}/\text{кг}$; $k_5 = 3 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$; $E_5/R = 11500 \text{ К}$; $v_5 = 0,3$; $\alpha_1 = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; $\alpha_2 = 80 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; $D = 10^{-6}$; $M_4 = 0,032$; $M_5 = 0,028$; $M_6 = 0,044$.

Результаты и их обсуждение

Задачей исследования было определение нижнего предела потока сфокусированного солнечного излучения, при котором возможно воспламенение слоя ЛГМ. В таблице представлены результаты численного расчета времени задержки воспламенения, а также известные экспериментальные данные [12]. Нижний предел q_s , при котором возможно воспламенение слоя ЛГМ, по результатам численного исследования составил $15 \text{ кВт}/\text{м}^2$, что примерно в 10 раз превышает значение несфокусированного теплового потока солнечной радиации [13]. Среднее отклонение результатов численного моделирования от экспериментальных данных [12] составило около 42 %. Согласно [14] погрешность решения задач теории лесных пожаров лежит в пределах от 15 до 580 %. Таким образом, полученные результаты можно считать удовлетворительными с точки зрения соответствия теоретических результатов экспериментальным данным [12]. Следует отметить, что разность теоретических и экспериментальных значений времени задержки воспламенения уменьшается с увеличением потока сфокусированного излучения.

Можно также отметить, что экспериментальные значения времен задержки воспламенения во всем

Время задержки воспламенения слоя ЛГМ лучистым тепловым потоком

Тепловой поток $q_s, \text{ кВт}/\text{м}^2$	Время задержки воспламенения $t_{ign}, \text{ с}$	
	расчет	эксперимент [12]
15	96	Нет зажигания
20	59	197–207
25	31	93–100
30	24	40–42
35	20	27–30
40	18	18–26

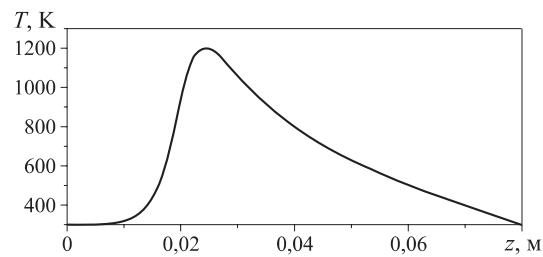


Рис. 2. Распределение температуры в системе слой ЛГМ – газовая смесь в момент зажигания при $q_s = 15 \text{ кВт}/\text{м}^2$

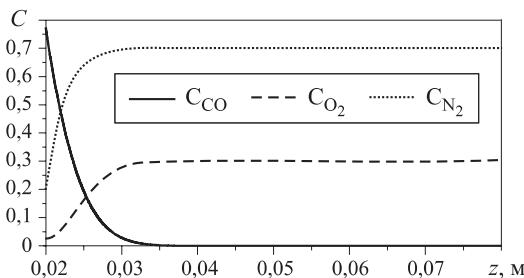


Рис. 3. Распределение компонентов газовой фазы в момент зажигания при $q_s = 15 \text{ кВт}/\text{м}^2$

диапазоне изменения теплового потока q_s превышают теоретические. Это, очевидно, обусловлено наличием влаги в ЛГМ при экспериментальном исследовании [12]. Кроме того, все ЛГМ существенно отличаются по своему составу, а значит, различаются и термохимические характеристики, например, сосновой хвои из разных регионов России и Белоруссии. Различными кинетическими параметрами процессов пиролиза хвои, с которой проводились эксперименты [12], и хвои, для которой выполнялось численное моделирование, обуславливаются отклонения времен задержки воспламенения ЛГМ.

Типичное распределение температуры по вертикальной координате в системе слой ЛГМ – газовая смесь в момент зажигания приведено на рис. 2. Пик на температурной кривой соответствует месту локализации химической реакции окисления моноксида углерода до диоксида углерода. На рис. 3 представлено распределение концентраций компонентов газовой фазы в момент зажигания.

Следует отметить, что для более точных прогнозов и оценок пожарной опасности ЛГМ в рассмотренных условиях необходимы также специальные исследования концентрации солнечного излучения при его прохождении через большие капли смолы и стеклянные емкости различных размеров, частично или полностью заполненные водой. При этом целесообразным является анализ влияния ориентации "концентратора" лучистой энергии относительно поверхности ЛГМ и направления потока солнечного излучения.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о большой вероятности возгорания сухих ЛГМ при воздействии на них концентрированных потоков солнечного излучения. Причем степень концентрации энергии не очень высока и пред-

ставляется вполне достижимой на практике в случае прохождения солнечного излучения не только через пустые или частично наполненные водой емкости (стеклянные банки или бутылки) либо их осколки, но и через большие капли смолы хвойных деревьев.

Выходы

На основании результатов теоретических исследований можно сделать вывод о целесообразности учета рассмотренного в данной работе фактора в системах прогноза лесной пожарной опасности. Решение поставленной задачи имеет важное значение для развития теории зажигания ЛГМ. Полученные результаты создают базис для дальнейшего развития физико-математических моделей зажигания ЛГМ и других пожароопасных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
2. Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах : постановление Правительства РФ от 30 июня 2007 г. № 417 // Пожарная безопасность. — 2007. — № 4; Российская газета. — 2007. — № 147; Собр. законодательства РФ. — 2007. — № 28.
3. О внесении изменений в Правила пожарной безопасности в лесах : постановление Правительства РФ от 5 мая 2011 г. № 343. URL : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=113844>.
4. Барановский Н. В. Концептуальная база российской системы прогноза лесной пожарной опасности // Безопасность в техносфере. — 2010. — № 6. — С. 34–42.
5. Барановский Н. В. Модель прогноза и мониторинга лесной пожарной опасности // Экология и промышленность России. — 2008. — № 9. — С. 59–61.
6. Барановский Н. В., Кузнецов Г. В. Конкретизация неустановленных причин в детерминированно-вероятностной модели прогноза лесной пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 24–27.
7. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Пространственная постановка и численное исследование задачи о зажигании лиственного дерева наземным грозовым разрядом // Бутлеровские сообщения. — 2011. — Т. 24, № 1. — С. 122–132.
8. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 41–45.
9. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания слоя лесных горючих материалов нагретой до высоких температур частицей // Пожаровзрывобезопасность. — 2006. — Т. 15, № 4. — С. 42–46.
10. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М. : Наука, 1983. — С. 33–36.
11. Кузнецов Г. В., Шеремет М. А. Разностные методы решения задач теплопроводности : учебное пособие. — Томск : Изд-во ТПУ, 2007. — 172 с.
12. Касперов Г. И., Гоман П. Н. Исследование пожароопасных свойств лесных горючих материалов сосновых насаждений // Труды БГТУ. Сер. II: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. — 2010. — Вып. XVIII. — С. 337–340 (Беларусь).
13. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3: Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 20 (Томская, Новосибирская, Кемеровская области и Алтайский край). — СПб : Гидрометеоиздат, 1993. — 718 с.
14. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. — Новосибирск : Наука, 1992. — 408 с.

*Материал поступил в редакцию 8 июля 2011 г.
Электронный адрес автора: firedanger@narod.ru*



В. В. Ощаповский
канд. хим. наук, доцент Львовского
государственного университета
безопасности жизнедеятельности,
г. Львов, Украина



М. С. Коваль
канд. пед. наук, профессор, первый
проректор Львовского государствен-
ного университета безопасности жиз-
недеятельности, г. Львов, Украина



А. Л. Мирус
канд. хим. наук, доцент, заведующий
кафедрой Львовского государственного
университета безопасности жизнедея-
тельности, г. Львов, Украина

УДК 614.841+614.841.48

ФОСФОРНЫЙ ПОЖАР (ОЖИДОВ, УКРАИНА): УРОКИ И НОВЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ ВОЗНИКОВЕНИЯ ПОЖАРОВ И ВОЗГОРАНИЙ

Проанализирован инцидент, связанный с возгоранием фосфора при его транспортировке по территории Украины и с его тушением. Оценены возможные последствия влияния продуктов горения на окружающую среду. Предложен метод повышения уровня обеспечения пожаровзрывобезопасности горючих и токсичных веществ и материалов при их перевозке и хранении на транспорте.

Ключевые слова: пожар; горение фосфора; знаки опасности.

В настоящее время увеличилось число природных и техногенных инцидентов и происшествий (в том числе пожаров), связанных с различными опасными химическими веществами, которые ведут к значительным материальным убыткам, травмам, заболеваниям и даже человеческим жертвам среди населения, а также наносят большой вред окружающей среде. Техногенные аварии, как правило, характеризуются наличием значительного экологического компонента их последствий. Вещества (продукты и отходы), которые при авариях попадают в окружающую среду, часто чужеродны (ксенобиотики), плохо совместимы с ней и труднонейтрализуются в результате естественных биосферных процессов.

Одной из таких техногенных катастроф явился “фосфорный” пожар вблизи населенного пункта Ожидов (Львовская обл., Украина), в 65 км от Львова. Здесь летом 2007 г. после полудня при движении грузового поезда, перевозящего желтый фосфор транзитом из Республики Казахстан в Польшу, 15 вагонов-цистерн с фосфором сошли с рельсов и перевернулись. Из одной цистерны часть фосфора вытекла и загорелась, после чего произошло самовоспламенение еще шести цистерн. Возникла опасность утечки и возгорания фосфора из всех цистерн.

Известно, что фосфор является очень опасным и ядовитым веществом, которое способно самовозгораться при контакте с воздухом. Горение фосфора — сильноэкзотермический процесс:



Взаимодействие между фосфором и водой (при высокой температуре) может привести к образованию ядовитых веществ — фосфинов и фосфорных кислот [1]. Образующийся при этом декаоксид тетрафосфора P_4O_{10} очень гигроскопичен. Кроме того, его взаимодействие с водяным паром



также является экзотермической реакцией, которая протекает с выделением большого количества тепла. Энтальпия ΔH_{298} для данного процесса, рассчитанная по термодинамическим данным [2, 3], составляет $-4072,02 \text{ кДж/моль}$. Гидратация оксида фосфора может привести к дополнительному нагреванию зоны горения, увеличив тем самым риск появления новых возгораний. Одна из модификаций P_4O_{10} (а именно, Н-форма) поглощает воду даже со взрывом [3].

Таким образом, тушение горящего фосфора огнетушащими веществами, которые содержат воду,

© Ощаповский В. В., Коваль М. С., Мирус А. Л., 2011

связано с дополнительными серьезными и опасными последствиями для здоровья людей. Попадание же на технику образующихся при горении фосфора кислот может вызвать ее коррозию и разрушение, что также является фактором, снижающим безопасность транспортирования данного вещества.

Поскольку фосфор является одним из важных компонентов боевых дымообразующих средств, его горение может вызвать у неподготовленных людей определенный психологический шок. В то же время горение элементарного фосфора приводит к образованию в конечном счете устойчивых и неопасных фосфорсодержащих продуктов, обладающих положительными агрехимическими свойствами.

Во время тушения вышеуказанного фосфорного пожара образовалось огромное облако из продуктов горения. Температура воздуха в момент аварии составляла 32 °C, скорость ветра — примерно 4 м/с. В зону загрязнения попали 14 населенных пунктов Львовской области.

Для тушения пожара было задействовано 11 пожарных поездов, 4 восстановительных и другие силы. Работать пожарным пришлось в крайне тяжелых условиях. Для тушения пожара, охлаждения, покрытия пеной цистерн и территории, загрязненной фосфором и продуктами его горения, было использовано 320 т пенообразователя и свыше 9000 м³ воды.

С начала возникновения ЧС было госпитализировано 180 чел. с подозрением на отравление продуктами горения. Тяжелых пострадавших зарегистрировано не было.

Пожар был ликвидирован за 5 ч. При этом был предотвращен взрыв цистерн, в которых содержалось более 750 т желтого фосфора; локализовано распространение токсических продуктов горения и предупреждена возможная экологическая катастрофа с непредсказуемыми последствиями для населения.

После ликвидации пожара одновременно с необходимыми ремонтно-восстановительными работами на участке поврежденной трассы были проведены мероприятия по регенерации, рекультивации и благоустройству территории. Сточные воды с пенообразователем (общим объемом 535 м³) собраны с почвы и утилизированы. Всего рекультивировано более 6000 м² земли, собрано около 100 т загрязненной смеси. Для нейтрализации очищенного участка пострадавшей территории использовано 120 т извести; вывезено 3250 м³ инертной почвы, 1400 м³ поверхностной плодородной почвы; засеяна трава на площади 6000 м²; проведена санитарная очистка ближайших лесонасаждений на площади 2730 м².

Для анализа состояния территории, экологических и химических исследований на месте инцидента были задействованы семь научно-технических, природоохранных и медицинских учреждений.

Результаты анализа воздуха, грунта, вод

Объект анализа	Ед. изм.	Содержание	
		оксида фосфора	фосфатов
Воздух	мг/м ³	0,05–0,04 0,15 [4]	—
Питьевая вода	мг/м ³	—	0,18–1,30
Поверхностные воды	мг/дм ³	—	0,08–1,30 3,5 [5, 6]
Почва	мг/кг	—	152–193 200 [7]

Примечание. Над чертой указан результат анализа, под чертой — нормативное значение показателя со ссылкой на источник.

По результатам мониторинга окружающей среды в населенных пунктах Бусского, Радеховского и Бродовского районов Львовской области отклонений от действующих нормативов не установлено. Анализ воздуха, грунта и вод проводился с использованием химического и хроматографического методов исследования. Результаты анализа представлены в таблице.

Спустя двадцать суток после аварии поезда и пожара был проведен анализ веществ на местности в зоне пожара. Химическим и физико-химическим анализом проб воздуха, воды и грунта установлено, что все показатели находятся в норме, превышения концентраций вредных веществ сверх предельно допустимых значений не обнаружено. Состояние грунта и грунтовых вод не вызывает опасений. Растительность в зоне пожара не пострадала. Повышенных концентраций фосфора и его производных в почве, грунтовых водах и воздухе не зафиксировано.

Органами Минприроды, Минздрава, МЧС, Минагрополитики, Госземагентства, Госкомлесхоза Украины был организован мониторинг окружающей среды. Независимая химическая комиссия, проводившая анализы на месте аварии спустя два месяца, также не обнаружила повышенных концентраций посторонних веществ. Очевидно, что исследование отдаленных последствий фосфорного пожара следует продолжить.

На основании анализа ситуации и действий аварийно-спасательных служб и персонала Львовской железной дороги по ликвидации пожара и его последствий предложен ряд мероприятий, направленных на предупреждение подобных инцидентов, на уменьшение рисков для жизни и здоровья людей и повреждения техники.

Для повышения уровня безопасности при перевозке опасных грузов (ядовитых, едких, радиоактивных, взрывчатых, горючих и других веществ) на подвижном составе Укржелдортранса (в контейнерах,

цистернах, вагонах, полувагонах и т. п.), а также других транспортных организаций, в том числе других стран, предлагается использовать специальную маркировочную символику согласно справочнику [8], а также международные символы опасности [9].

Эти же международные маркировочные знаки целесообразно наносить на складские и другие помещения, которые используются для хранения или перегрузки веществ, материалов и т. п., а также на соответствующую тару (контейнеры, ящики и т. д.). Конкретно предлагается наносить на вагоны (цистерны, контейнеры и т. п.) маркировочный знак “квадрат опасности” [8], включающий соответствующую символику уровня и признаки опасности (рис. 1).

Квадрат опасности — это система для моментальной оценки ситуации после аварии с опасными объектами (веществами) [8]. Этот знак представляет собой геометрическую фигуру — квадрат, разделенный двумя диагоналями на четыре треугольника. В этих треугольниках (полях) указываются три главных опасности и особые примечания. Интенсивность (степень опасности) отражается цифрами от 0 до 4: “4” соответствует наивысшему уровню опасности, “0” — самому низкому уровню.

Левое поле (треугольник) окрашено в **голубой цвет** и означает *опасность для здоровья*. Цифры внутри этого поля указывают на уровень опасности и рекомендуют правила поведения персонала при обращении с данным веществом:

- 4 — Крайне опасно! Избегать любого контакта с парами или жидкостями без специальной защиты;
- 3 — Очень опасно! Пребывание в опасной зоне лишь в полностью защищающей одежде и противогазе;
- 2 — Опасно! Пребывание в опасной зоне лишь в противогазе и защитной одежде;
- 1 — Незначительная опасность. Рекомендуется противогаз;
- 0 — Особой опасности нет.

Верхнее поле (треугольник) окрашено в **красный цвет** и означает *опасность пожара*. Цифры внутри этого поля указывают на уровень опасности и рекомендуют правила поведения персонала при обращении с данным веществом:

- 4 — Экстремально возгораемые вещества при любых температурах;
- 3 — Опасность воспламенения при нормальных температурах;
- 2 — Опасность воспламенения при нагревании;
- 1 — Опасность воспламенения лишь при нагревании;
- 0 — При обычных условиях опасность воспламенения отсутствует.

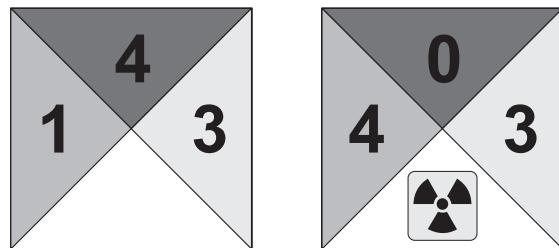


Рис. 1. Квадрат опасности

Правое поле (треугольник) окрашено в **желтый цвет** и означает *опасность протекания реакции*. Цифры внутри этого поля указывают на уровень опасности и рекомендуют правила поведения персонала при обращении с данным веществом:

- 4 — Высокая опасность взрыва! Создать зону безопасности. В случае пожара освободить территорию;
- 3 — Опасность взрыва при действии тепла или сильного сотрясения, при ударе и т. п. Создать зону безопасности;
- 2 — Возможна бурная химическая реакция. Усилить мероприятия защиты. Гасить пожар лишь с безопасного расстояния;
- 1 — Вещество становится нестабильным лишь при нагревании. Необходимы защитные мероприятия;
- 0 — При нормальных условиях опасность отсутствует.

Нижнее поле (треугольник) окрашено в **белый цвет** и предназначено для символов *особые указания*.

Все символы особых указаний (или знаки) предназначены для информирования об особых признаках или характеристиках веществ, о способах обращения с ними в чрезвычайной ситуации, а также для предостережения от ошибочных действий личного состава и персонала служб. Эти знаки должны знать не только пожарные, работники спасательных служб, железнодорожники, но и обычные граждане во избежание нежелательных экстремальных ситуаций в случае наступления инцидента (чрезвычайной ситуации), например на курсах или лекциях по основам безопасности жизнедеятельности. Но этот вопрос выходит за рамки данной статьи.

Ниже приведены примеры специальных знаков [9], которые широко используются в маркировочной символике и часто встречаются на практике:

- вода разрешена как средство для тушения пожара;
- не использовать воду для тушения пожара;
- при высвобождении вещества — опасность радиоактивного излучения. Радиация, радиоактивность, ионизирующее излучение;
- неионизирующее излучение;



— ядовитое (опасное для жизни) вещество;



— опасно; возможно поражение электрическим током;



— биологическая опасность.

Более полно и подробно система символов опасности описывается в справочнике [8]. Она позволяет использовать не только цветовую, но и черно-белую систему знаков. Легко понять, что знаки на нижнем поле квадрата опасности могут играть роль подсказчика пожарному или спасателю, как поступать в той или иной ситуации во время пожара или чрезвычайной ситуации. Это весьма важно, учитывая особенности пожаров на транспорте: 1) удаленность от населенных пунктов и пожарных частей; 2) усиленный приток воздуха во время движения и, соответственно, повышенная скорость диффузии реагентов в зону горения и продуктов — из зоны горения; 3) колебания и вибрация, способствующие размолу, дроблению (а значит, увеличению поверхности) и перемешиванию горючих и окисляющих веществ, что облегчает их контакт.

“Квадрат опасности” имеет размер 250×250 мм (или другой формат, который выбирается по усмотрению владельца опасного объекта, но не менее 100×100 мм). Он наносится на поверхность емкости (контейнера) согласно указанию административного руководителя либо пожарного инспектора. Кроме того, знак “квадрат опасности” с соответствующими символами заносится в аварийную карточку на опасный груз (в черно-белом варианте).

Похожая символика при перевозке грузов используется в США. Национальная ассоциация защиты от пожаров в США имеет стандарт знака (рис. 2) в виде ромба с четырьмя разноцветными секциями и числами в них, обозначающими степень угрозы (от 0 до 4: 0 — нет риска, 4 — максимальный риск). В красной секции (верхней) указано взгораемость, голубой (левой) — риски для здоровья, желтой



Рис. 2. NFPA 704 — американский стандарт обозначения опасных грузов



Рис. 3. Европейский знак опасности

(правой) — взрывоопасность, белой (нижней) — специальная информация.

В свою очередь, в Европейской системе символов опасности знак опасности представлен в виде прямоугольника оранжевого цвета (рис. 3), где в верхнем поле указан знак опасности, обозначающий, например, огнеопасно (33), а в нижнем — вещество, например бензин (1203).

Недостаток этих знаков состоит в том, что спасатель (пожарный и пр.) должен помнить достаточно большой набор цифровых обозначений. Напротив, предложенная нами маркировка опасных грузов достаточно просто и наглядно иллюстрирует опасность перевозимого или хранимого вещества (в том числе пожарную) и способы борьбы с ней.

В случае той или иной чрезвычайной ситуации (пожары, аварии с выбросами или излиянием опасных веществ, ДТП и т. п.) спасатели (пожарные, ликвидаторы ЧС) по знаку “квадрат опасности” могут легко сориентироваться в обстановке, оценить риски, спрогнозировать ход событий, предложить определенные мероприятия по снижению уровня опасности и реализовать их, минимизировав расходы.

Принятие предложения о новой маркировке грузов и объектов будет способствовать более эффективным действиям личного состава в условиях дефицита времени во время чрезвычайной ситуации и позволит обезопасить людей, технику и материалы при пожаротушении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корбридж Д. Фосфор. Основы химии, биохимии, технологии. — М. : Мир, 1982. — 680 с.
2. Карапетянц М. Х. Химическая термодинамика. — М. : Химия, 1975. — 584 с.
3. Химическая энциклопедия. Т. 5. — М. : Большая Российская энциклопедия, 1998. — 783 с.
4. URL : http://buklib.net/component?option=com_jbook/task/view/Itemid,99999999/catid,127/id,3613.
5. Зеркалов Д. В. Экологическая безопасность: управление, мониторинг, контроль. — К. : КНТ, Дакор, Основа, 2007. — 412 с. (на укр. яз.).
6. Химическая энциклопедия. Т. 1. — М. : Советская энциклопедия, 1988. — 623 с.
7. URL : <http://www.tnpu.edu.ua/subjects/12/1/Files/dod6.htm>.
8. Небезпечні хімічні речовини в природі, промисловості і побуті. Довідник експрес-інформації у символах. — Київ : Чорнобильінтерінформ, 1998.
9. Символы опасности. URL : <http://ru.wikipedia.org/wiki>.

Материал поступил в редакцию 11 мая 2011 г.

Электронные адреса авторов: oshchapovsky@yahoo.com; koval@ubgd.lviv.ua.



В. М. Есин
д-р техн. наук, профессор Академии
ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия



С. Х. Нгуен
адъюнкт Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия

УДК 614.841.48

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ МОТОЦИКОЛОВ

Проведено экспериментальное исследование по определению температурного режима при горении мотоциклов, особенностей процесса распространения горения между мотоциклами и визуализации образующихся продуктов горения в полигонных условиях.

Ключевые слова: мотоцикл; пожарная опасность; температурный режим.

Автостоянки Вьетнама отличаются от автостоянок многих стран мира качественным составом транспортных средств. Наиболее популярным личным транспортным средством вьетнамцев является мотоцикл. По статистике Министерства транспорта Вьетнама в декабре 2009 г. в стране зарегистрировано свыше 1,2 млн легковых автомобилей и 25,2 млн мотоциклов, в том числе в столице Вьетнама Ханое — более 0,35 млн автомобилей и 4,5 млн мотоциклов, а в Хошимине — около 0,45 млн автомобилей и 5,6 млн мотоциклов [1]. Причем количество мотоциклов растет очень быстро, особенно в таких крупных городах страны, как Ханой и Хошимин. Каждый год оно здесь увеличивается на 15–20 %. По результатам переписи населения 2009 г. численность населения Ханоя составляла 6,4 млн чел., Хо-

шимина — 7,1 млн чел. В настоящее время на каждого взрослого человека приходится один мотоцикл.

Пожарная опасность мотоцикла обусловлена использованием горючих материалов в его конструкции, в системе снабжения топливом двигателя, а также горюче-смазочных материалов и горючих жидкостей — в системе охлаждения. В работе [2] показано, что горючая нагрузка и обусловленная этим пожарная опасность достаточно велики. Для оценки развития пожаров мотоциклов, особенно при размещении их на близком расстоянии друг от друга на подземных автостоянках, была разработана методика экспериментального исследования горения в условиях полигона.

Данная методика основана на определении температурного режима при горении мотоциклов, особенно-

№ п/п	Прибор, оборудование	Назначение	Количество
1	Мотоциклы	Объект эксперимента	4
2	Модуль ввода аналоговый ОВЕН МВА8, термо- преобразователи ТХА (0–1100 °C)	Запись температуры	2
3	Термопары ТХА (хромель-алюмелевые, 0,5 мм)	Измерение температур	16
4	Модуль интерфейса RS-485	Конфигурирование прибора сигнала на ПК (программа-конфигуратор)	1
5	Ртутные термометры (0–100 °C)	Измерение температуры среды	1
6	Датчики влажности	Измерение относительной влажности воздуха	1
7	Видеокамера	Видеосъемка экспериментов	2
8	Фотокамера	Фотосъемка экспериментов	1
9	Секундомер	Измерение времени	1
10	Весы механические (500 кг)	Измерение массы мотоциклов до и после горения	1
11	Набор слесарного инструмента	Слесарные и монтажные работы	1
12	Огнетушители	Тушение объекта	5

© Есин В. М., Нгуен С. Х., 2011

ностей процесса распространения горения между мотоциклами и визуализации образующихся продуктов горения в полигонных условиях. Доля мото-

циклов с объемом двигателя 125 см³ составляет 91 % от общего их количества во Вьетнаме, поэтому в качестве объекта исследования были выбраны имен-

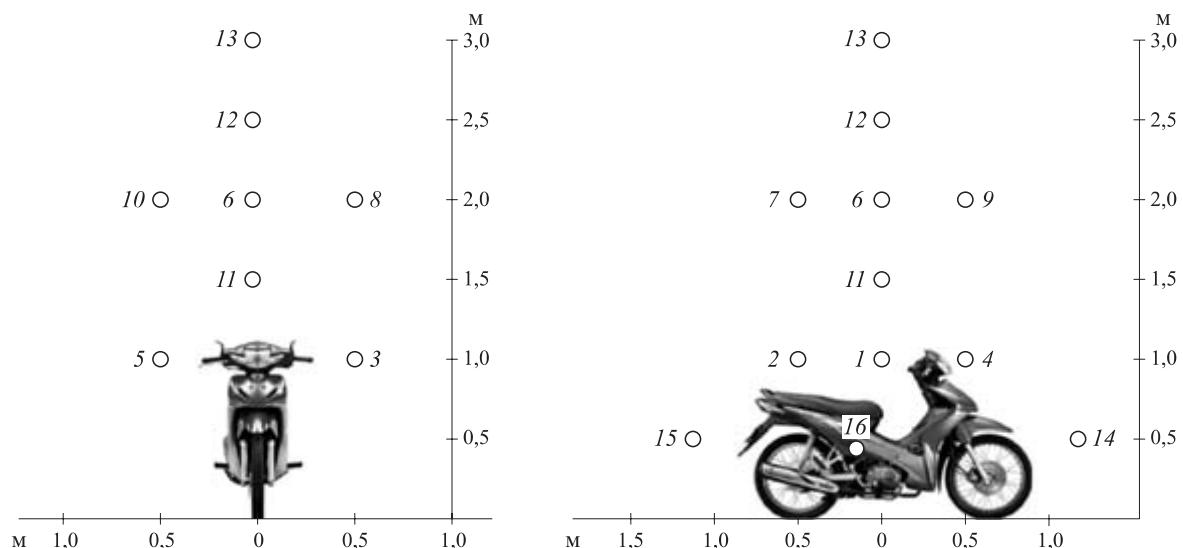


Рис. 1. Схема размещения датчиков в экспериментальной работе: ○ — датчик и его номер

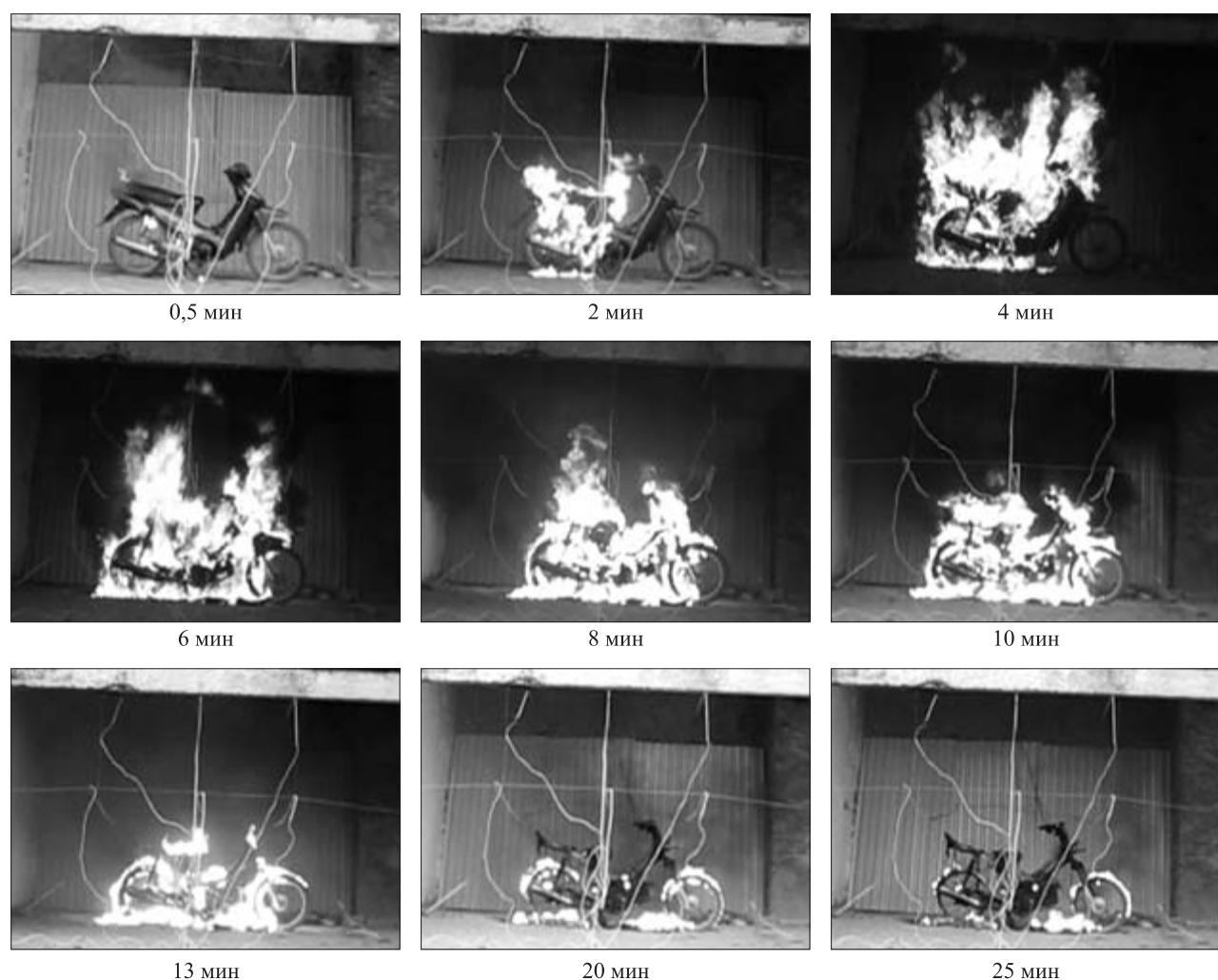


Рис. 2. Процесс горения одного мотоцикла

но такие мотоциклы: один мотоцикл Viva-Suzuki 125 и три мотоцикла Wave-Best 125. Цель эксперимента — определение особенностей процесса горения мотоциклов, температурные режимы при горении одного и трех мотоциклов, время распространения горения между мотоциклами.

Для сбора и обработки получаемых в процессе измерений данных разработана информационно-измерительная схема, состоящая из ноутбука HP-ProBook 4510s, модуля ввода аналогового ОВЕН МВА8 и преобразователей термоэлектрических ТХА.

В таблице приведен перечень оборудования, объектов исследования и измерительной аппаратуры,

применявшихся при экспериментальном исследовании. Измерение температуры осуществляется термопарами ТХА, установленными вокруг мотоциклов в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1.

С целью унификации испытаний основные эксперименты проводились при одних и тех же параметрах окружающей среды: температуре 26 °C, влажности 85 %, давлении 758 мм рт. ст.

Результаты экспериментального исследования для одного и трех мотоциклов показаны на рис. 2 и 3.

Результаты измерения температурного режима при горении одного и трех мотоциклов представлены на рис. 4 и 5.

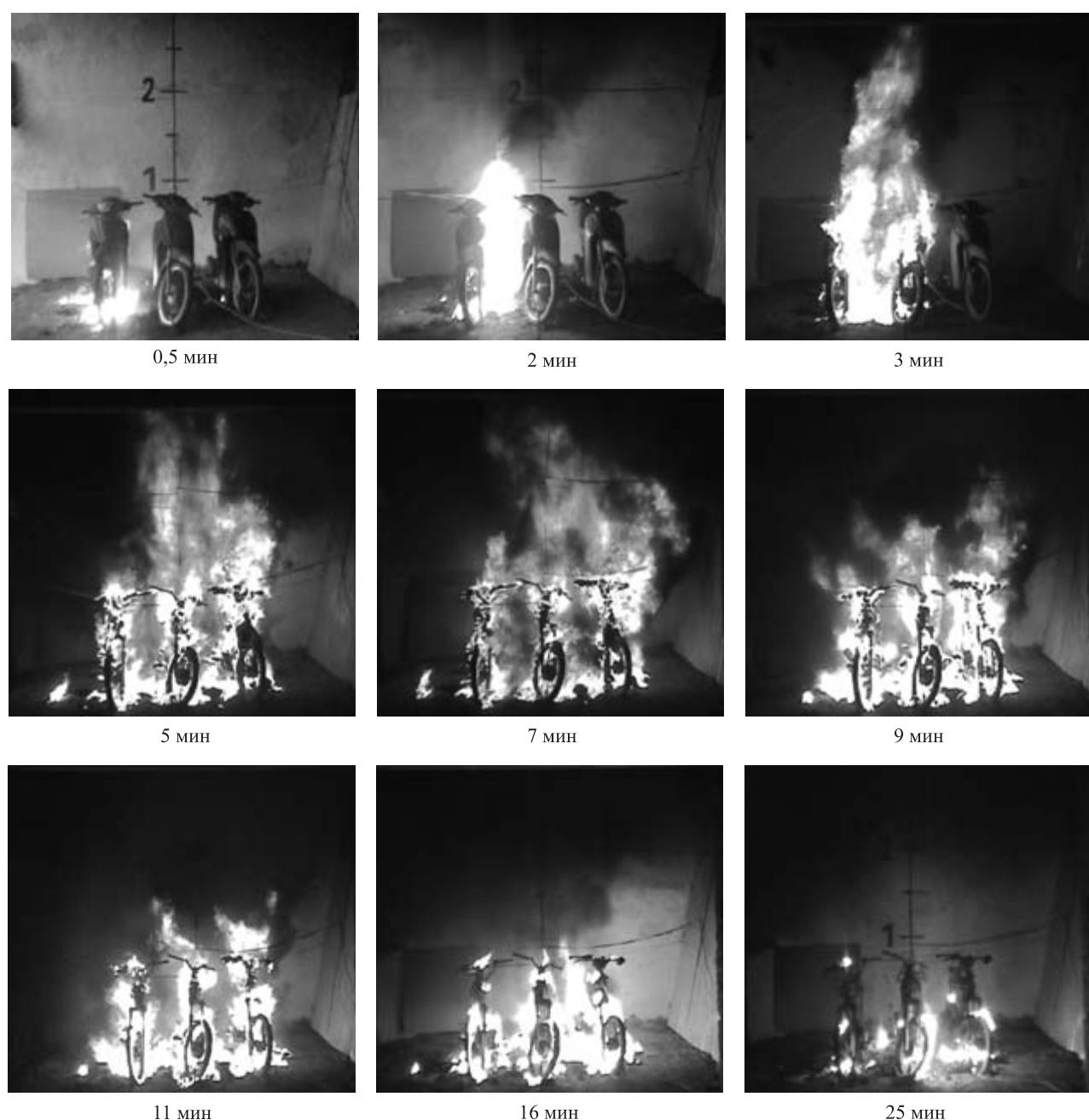


Рис. 3. Процесс горения трех мотоциклов

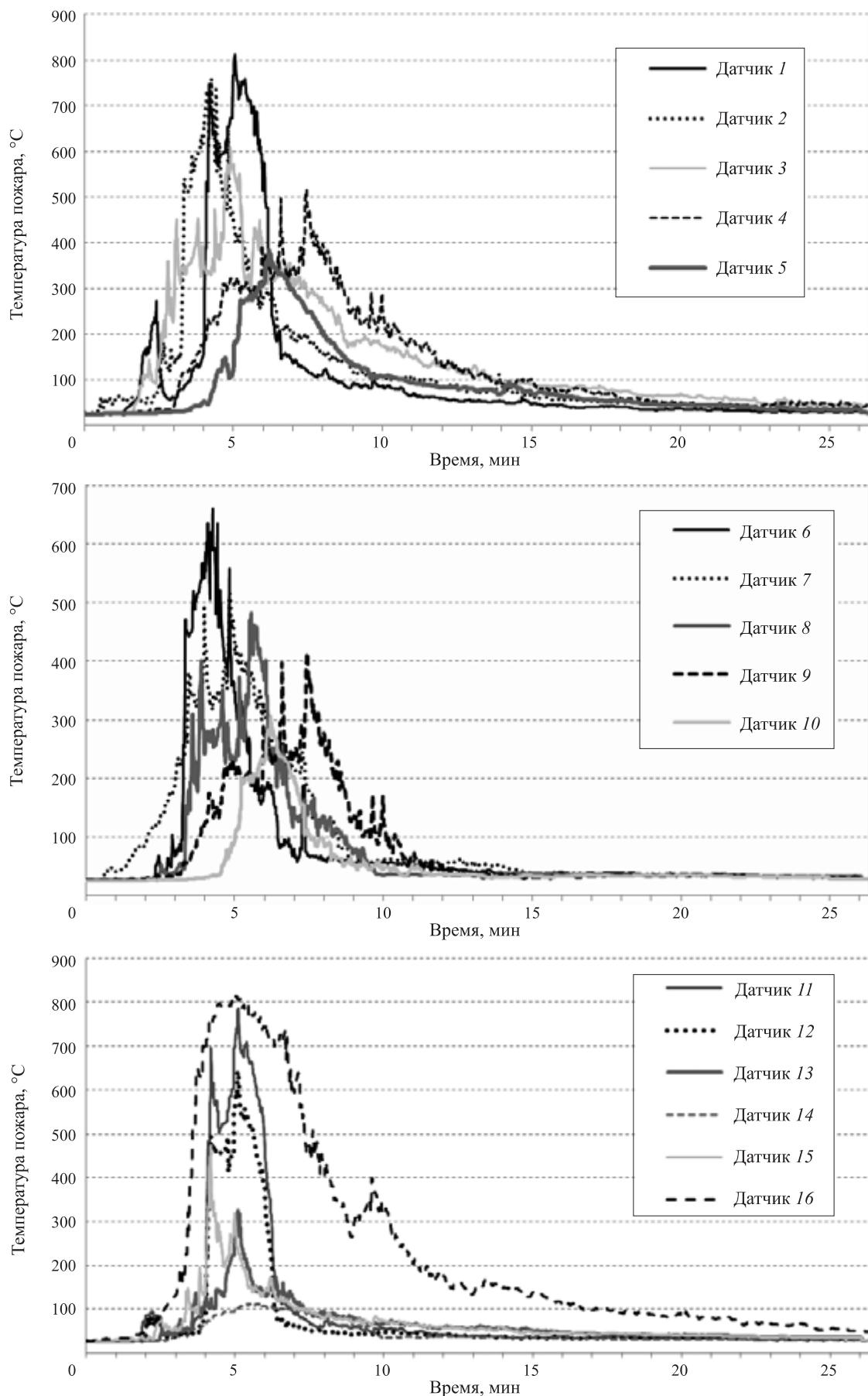


Рис. 4. Температурный режим при горении одного мотоцикла

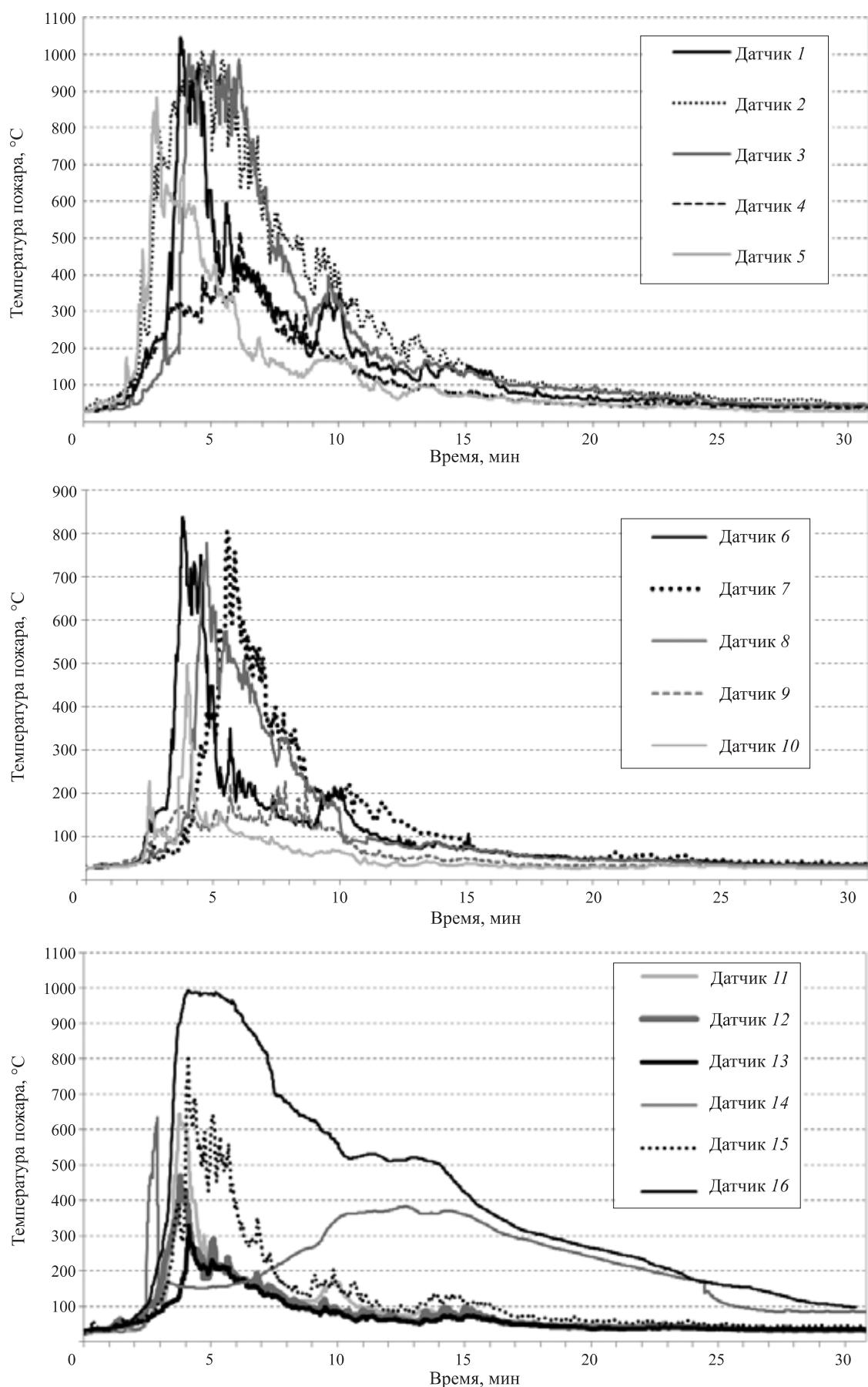


Рис. 5. Температурный режим при горении трех мотоциклов

Выходы

1. Процесс горения мотоциклов протекает очень быстро. Активное горение мотоцикла наблюдается в интервале 2–10 мин с момента начала горения. Для одного мотоцикла полное время горения составляет около 25 мин, для трех — 30 мин.

2. При парковке мотоциклов на подземной автостоянке при расстоянии от 10 до 20 см друг от друга пожар очень быстро переходит на соседние мотоциклы. В испытаниях второй мотоцикл начал гореть через 2 мин с начала горения первого мотоцикла. При этом наблюдалось резкое возрастание температуры. Третий мотоцикл загорелся через 1,5 мин после начала горения второго мотоцикла.

3. Визуальные наблюдения и киносъемка свидетельствуют о большом количестве дыма и токсичных продуктов горения, что обуславливает необходимость устройства систем противодымной защиты.

4. Высота пламени при горении мотоциклов достигает перекрытия. Температура на высоте 2,5 м достигает 320 °C при горении одного мотоцикла и более 400 °C — трех мотоциклов. Последнее обстоятельство представляет опасность для конструкций перекрытия.

5. Результаты экспериментального исследования будут использованы для верификации математических моделей и при разработке противопожарных требований нормативных документов для Республики Вьетнам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Нгуен С. Х. Проблемы пожарной безопасности на подземных автостоянках Вьетнама // Системы безопасности : материалы 19-й Научно-технической конференции. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — С. 215–217.
- Есин В. М., Нгуен С. Х. Особенности пожарной опасности транспортных средств на подземных автостоянках Вьетнама // Технологии техносферной безопасности : Интернет-журнал. — 2011. — Вып. № 2(36). URL : <http://ipb.mos.ru/ttb/2011-2-0421100050/0021>.

Материал поступил в редакцию 19 мая 2011 г.

Электронные адреса авторов: vtm_yesin@mail.ru; hung130881@mail.ru.



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



А. Н. Денисов
канд. техн. наук, доцент,
доцент Академии ГПС МЧС
РФ, г. Москва, Россия



А. А. Лукиянченко
канд. техн. наук, научный
сотрудник Академии ГПС
МЧС РФ, г. Москва, Россия



А. В. Соколов
генеральный директор
ООО «Дельта-С»,
г. Зеленоград, Россия



А. Н. Григорьев
старший преподаватель
Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия

УДК 614.842.8:681.518

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УПРАВЛЕНИЕ ПОЖАРНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ

Представлены некоторые результаты экспериментальных исследований опасных факторов пожара, влияющие на выбор решающего направления при введении огнетушащих средств в помещениях с ухудшенным газообменом.

Ключевые слова: пожар; тушение; методика; управление; локализация пожара; начальная стадия пожара; опасные факторы пожара; задымление; газовыделение материалов; пожарный извещатель.

Знание и учет особенностей развития пожаров являются основой для выбора рациональных управленческих решений при их тушении. Глубина познания определяет успех борьбы с неконтролируемым горением в помещениях, создает предпосылки для перехода к гибкому нормированию [1].

В ноябре 2008 г. в Москве было проведено показательное пожарно-тактическое учение, направленное на исследование факторов, влияющих на управление пожарными подразделениями при тушении пожаров в жилых зданиях традиционными и перспективными средствами. В рамках учений осуществлено наблюдение за изменениями основных параметров во времени: площади пожара, температуры пожара, интенсивности задымления на пожаре, состава газовой среды при развитии пожара и его тушении в жилом здании и др. Информация о динамике пожара в жилых зданиях имеет практический интерес, так как основное число пожаров регистрируется в быту [2–4].

Первые систематические исследования пожаров в ограждениях относятся к концу 50-х – началу 60-х годов. К этому периоду относятся обширные национальные научные программы, проводившиеся в СССР, США, Англии, Швеции, Японии и несколько позже во Франции на международном уровне под эгидой Международной организации по стандарти-

зации и Международного совета по научным исследованиям и обмену опытом в области строительства. Эти программы включали исследования по тушению пожаров твердых горючих материалов в ограждениях в СССР (50-е годы), а также в США, ФРГ и Польше (70-е годы). Несокращающийся поток публикаций в настоящее время свидетельствует об интенсивности продолжающихся исследований в этой сфере и о сохранившейся до сих пор неясности по ряду аспектов, касающихся количественных оценок того или иного явления, протекающего при пожаре в ограждении [1, 5–9].

Целью проведения экспериментального исследования являлось изучение: изменения параметров пожара во времени и в пространстве с момента загорания пожарной нагрузки до выхода его на стационарный режим в помещениях с ухудшенным газообменом; процессов задымления при пожаре и работы автоматической пожарной сигнализации, а также применения устройств подачи огнетушащих веществ на пожаре, стоящих на вооружении подразделений Московского гарнизона пожарной охраны, и новационных технологий тушения пожаров; поведения материалов и конструкций при пожаре с известной пожарной нагрузкой; действий руководителя тушения пожара и оперативного штаба по тушению пожара и проведению аварийно-спаса-

© Денисов А. Н., Лукиянченко А. А., Соколов А. В., Григорьев А. Н., 2011

тельных работ в жилых зданиях; взаимодействия подразделений пожарной охраны со службами жизнеобеспечения города для дальнейшего развития моделирования.

Для достижения указанной цели в ходе проведения учений поставлена **задача** осуществить прогноз и фиксирование:

- *временных характеристик*: времени прибытия пожарных подразделений, подачи первого ствола, локализации пожара; длительности начальной стадии пожара, интенсивности задымления в комнате (квартире, подъезде), тушения пожара и работы штаба тушения пожара; времени обнаружения пожара;
- *температурных и тепловых режимов* в комнате, квартире, подъезде;
- *пространственных параметров*: площади пожара, площади тушения; фактического расхода огнетушащих веществ и интенсивности их подачи; газовыделения на начальной стадии.

Исследуемый объект. Пятиэтажное здание 1953 г. постройки, панельное; перекрытия, перегородки и наружные стены железобетонные. На одно окно — одна панель. Высота потолков 2,7 м. На этаже находятся 3–4 квартиры. Квартиры в доме одно-, двух- и трехкомнатные.

Эксперимент проводился при следующих начальных условиях в помещении: влажность воздуха —

55 %, температура +3,8 °C, скорость воздушного потока — менее 0,01 м/с, давление — 738 мм рт. ст.

Методика проведения эксперимента. Исследования проводились по методике, разработанной на кафедре пожарной тактики и службы Академии ГПС МЧС России [2].

Предварительная стадия эксперимента. На этой стадии ставилась цель проверить возможности раннего обнаружения пожара с помощью газочувствительных детекторов газов, реагирующих на вещества, выделяющиеся при пиролизе различных материалов (табл. 1). Для оценки закономерностей влияния термического разложения на параметры газовыделения на начальной стадии процесса горения была проведена настройка газоанализаторов.

Физические свойства выделяющихся и исследуемых газов, по которым настраивались газоанализаторы и проводились измерения, представлены в табл. 2. По другим газовым компонентам, также выделяющимся при плавлении и горении, измерения не проводились из-за сложности их селективного измерения.

В экспериментальном помещении (комнате) объемом 32 м³ окна и двери находились в закрытом состоянии, чтобы посторонние воздушные потоки не мешали движению газа. Во время проведения эксперимента все, что могло вызвать перемешивание воздушных потоков в помещении (движение людей

Таблица 1. Приборы и оборудование для измерений

Наименование	Марка	Документ	Примечание
Термометр	ТЛ-4	ГОСТ 2854-90	Диапазон измерения 0...50 °C
Психрометр аспирационный электрический	М-34	ТУ 25.1607.054.85	Диапазон измерения 10...100 %
Барометр-анероид	БАММ-1	ТУ 25.04.1513-79	Диапазон измерения 80...106 кПа
Секундомер	СОПпр-2а-3	ГОСТ 5072-79	Диапазон измерения 0...60 мин
Ротаметр	РКС-1-0,25	ГОСТ 99323-75	—
Термопреобразователь	ТПК 011-0,7/10	—	Диапазон измерения -40...+800 °C
Тепловизор	Bullard T3 MAX	—	Маркировка уровня нагрева среды и объектов
Переносные мультигазосигнализаторы серии ИГС-98	Комета-М	ТУ 4215-001-07518800-99	№ 7070 (H ₂ S, CO ₂ , CH ₄ , CH); 7071 (H ₂ S, CO ₂ , CH ₄ , CH); 7072 (H ₂ S, CO ₂ , CH ₄ , CH); 8596 (CO ₂ , CH, CO); 8454 (CO, O ₂ , CH ₄)
Индивидуальный газосигнализатор серии ИГС-98 на кислород	Клевер-В	ТУ 4215-001-07518800-99	O ₂
Термоанемометр	VT-50	—	Диапазон измерений 50...0,01 м/с
Термоанимометр	Testo 405-V1	—	Диапазон измерения от 0,01 м/с; 0,1 °C
Автономный дымовой извещатель	ДИП-212-31	—	Чувствительность извещателя 0,05...0,2 дБ/м
Указатель температуры 8-канальный	УКТ38Щ4ТП	ТУ 4211-006-46526536-03	Диапазон измерений -90...+1700 °C. Погрешность 0,25 %

Таблица 2. Физические свойства газов

Газ	Химическая формула	Плотность при 0 °C, кг/м ³	Вязкость при 25 °C, 10 ⁻⁸ кг/(м·с)	Коэффициент диффузии в воздухе, м ² /с	Относительная масса <i>d</i>
Воздух	O ₂ + N ₂	1,2928	1837	N ₂ = 0,17 · 10 ⁻⁴ O ₂ = 0,18 · 10 ⁻⁴	1,00
Водород	H ₂	0,08987	890	1,28 · 10 ⁻⁴	0,070
Оксид углерода (угарный газ)	CO	1,2500	1766	0,175 · 10 ⁻⁴	0,967
Диоксид углерода	CO ₂	1,9768	1486	0,097 · 10 ⁻⁴	1,529
Метан	CH ₄	0,7168	1168	0,206 · 10 ⁻⁴	0,555
Пропан	C ₃ H ₈	2,0037	739	—	1,562

и пр.), было исключено. В центре комнаты на металлическом основании диаметром 0,8 м последовательно сжигали материалы известной массы (бумага газетная, ткань белая, сигарета с фильтром, хлопок натуральный непряденый) (рис. 1) и измеряли концентрации выделяющихся газов под потолком, у пола и на уровне поверхности постели (0,50 м). Отбор проб на верхнем уровне (под потолком) проводился с помощью пробоотборной силиконовой трубы с внутренним диаметром 4 мм, длиной 3 м, а на нижнем уровне — без пробоотборной трубы и фильтров. Для измерения концентраций газа использовали группу измерительных мультигазосигнализаторов “Комета-М” со встроенным электрическим насосом для аспирации контролируемого газа через гибкую эластичную трубку с максимальной чувствительностью сенсоров. Концентрацию кислорода дополнительно контролировали индивидуальным кислородометром “Клевер-В”. Приборы автоматически измеряли параметры и сохраняли их в памяти с частотой 1 раз в 9 с. После окончания замеров полученные экспериментальные данные передавались в персональный компьютер и обрабатывались с помощью прикладных программ.

При сжигании хлопка натурального непряденного была зафиксирована среднеобъемная концентрация угарного газа 25 мг/м³. Кроме того, регистрировались время реагирования детекторов с момента начала эксперимента и скорость нарастания концентрации: на уровне потолка над очагом — 250 с и 0,08–0,1 мг/с, у пола — 400 с и 0,1 мг/с соответственно. Максимальные концентрации газов под потолком и на уровне пола совпадали. Запаздывание в реагировании на разных уровнях размещения детектора составляло 150 с. При детектировании на уровне потолка наблюдались скачки концентрации, обусловленные наличием турбулентных потоков. При проветривании помещения концентрация газов быстрее снижалась у пола за счет воздушных потоков.

В этом эксперименте в точках отбора проб, расположенных на уровне постели, срабатывание извещателей на суммарное выделение углеводородов

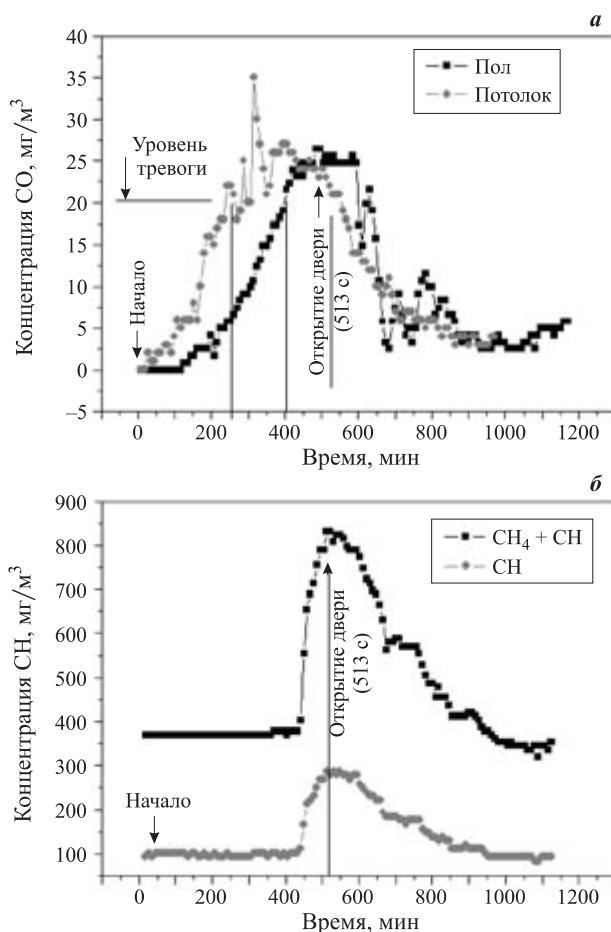


Рис. 1. Изменение концентрации оксида углерода (а) и углеводородов (б), выделяющихся при тлении 7,5 г хлопка (натурального непряденного) в замкнутом помещении объемом 32 м³

происходило через 450 с после начала процесса плавления.

В отличие от детекторов угарного газа у детекторов углеводородов наблюдалась задержка реагирования (400 с), связанная, возможно, с тем, что выделение углеводородов происходит на более поздней стадии по сравнению с CO. Об этом свидетельствует и большая скорость нарастания их концентрации. Шкала концентрации условная, суммарная концентрация углеводородов не превышает

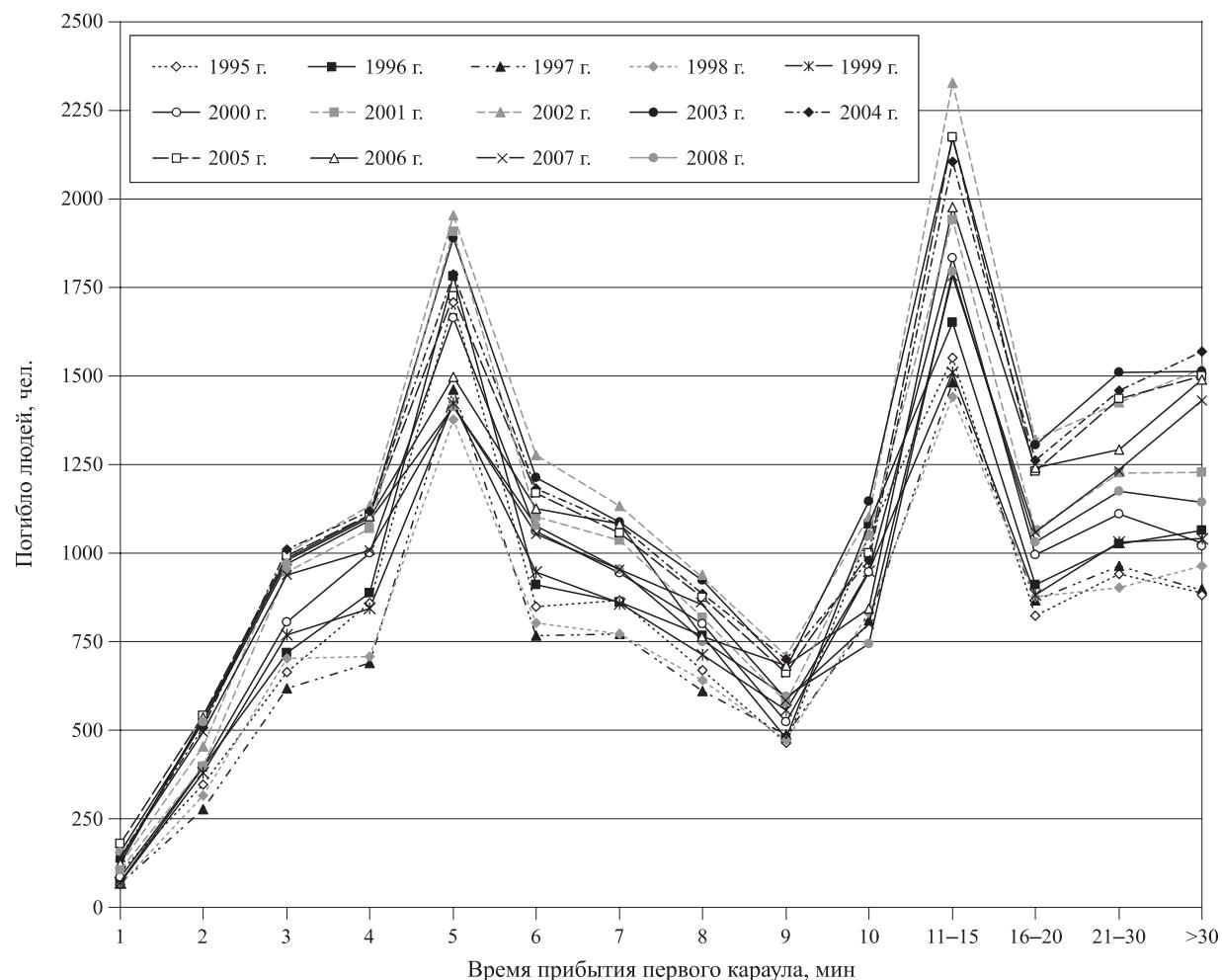


Рис. 2. Распределение числа погибших по времени прибытия первого караула к месту пожара в 1995–2008 гг.

20 мг/м³ в пересчете на метан. Эксперимент свидетельствует о возможности использовать чувствительные детекторы углеводородов для обнаружения пожара на начальной стадии (см. рис. 1, б).

Скорость распространения газов, выделяющихся на начальной стадии горения материалов в закрытом помещении, таких как оксид углерода (CO), водород (H₂), диоксид углерода (CO₂), углеводороды (CH), метан (CH₄), зависит как от наличия конвективной струи над очагом загорания, так и от величины диффузии газа от него. При малых концентрациях молекулы всех газов практически не испытывают аэродинамического сопротивления, а также большего по сравнению с воздухом действия гравитационных сил. Явление диффузии способствует расширению области распространения газов, поэтому она больше, чем у тяжелых аэрозольных частиц дыма. Таким образом, угарный газ и водород достаточно быстро и равномерно распределяются в защищаемом помещении за счет существующих до начала пожара воздушных потоков. Оксид углерода распространяется четко в направлении движения воздуха при естественной конвективной циркуляции,

т. е. подъем к потолку с теплым воздухом происходит не за счет конвективной воронки от очага, а за счет конвективных потоков от нагревательных устройств.

По мере распространения газа в помещении его концентрация уменьшается пропорционально заполняемому объему. Любой конвективный поток (в том числе образованный в результате плавления в зоне очага) ускоряет этот процесс. В связи с этим за рубежом используется индивидуальный подход при настройке (программировании) извещателя, смысл которого заключается в установке порога превышения над фоновым уровнем в конкретном помещении, а также в использовании пороговой скорости нарастания концентрации, что значительно расширяет перечень объектов и условий применения газовых пожарных извещателей [10].

Установка порогов срабатывания должна быть гибкой — по скорости нарастания каждого газа над фоновым уровнем. Наиболее целесообразным является включение газовых пожарных извещателей в адресно-аналоговые системы автоматической пожарной сигнализации с целью быстрого выявления

места загорания, так как нарастание концентрации газа может проходить с достаточно высокой скоростью.

Анализ экспериментальных данных. Пожары в жилых зданиях относятся к пожарам, развитие которых лимитируется газообменом, обуславливающим многостадийность процесса. На ранней стадии возникновения загорания (стадии плавления) выделяется значительное количество газообразных продуктов горения (газы и частицы аэрозоля — дыма), что ведет к гибели людей (рис. 2). Чтобы предотвратить это, возможно применение газовых пожарных извещателей, для оценки эффективности которых необходимо пересмотреть общие принципы их использования [11].

В настоящее время в России действуют нормы пожарной безопасности на газовые пожарные из-

вещатели, устанавливающие общие технические требования к ним и методы их испытаний. Однако отсутствуют нормативные документы, регламентирующие их размещение в защищаемых помещениях, что не позволяет эффективно использовать газовые пожарные извещатели и ограничивает их применение.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований явились основой для определения области применения газовых пожарных извещателей на объектах различного назначения и обоснования времени оперативного реагирования на пожар. Новые методы измерения дают возможность предупреждать пожары за счет раннего обнаружения признаков возгорания. Проведение натурных экспериментов — основа отработки новых противопожарных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молчадский И. С. Пожар в помещении. — М. : ВНИИПО, 2005. — 456 с.
2. Исследование факторов, влияющих на управление пожарными подразделениями при тушении пожаров в жилых зданиях традиционными и перспективными средствами : методическая разработка. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2008. — 47 с.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2008 году : статистический сборник / Под общ. ред. Н. П. Копылова. — М. : ВНИИПО, 2008. — 137 с.
4. Статистика пожаров в Российской Федерации за 2003–2010 гг. URL : <http://www.mchs.gov.ru/stats>.
5. Панин Е. Н. Оптимизация параметров тушения пожаров в жилых зданиях повышенной этажности : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1991. — 281 с.
6. Петров И. И. Некоторые проблемы тушения пожаров в помещениях // Пожарная безопасность. — 2009. — № 2. — С. 90–95.
7. Страхов В. Л., Мельников А. С., Каледин Вл. О. Математическое моделирование высокотемпературного тепломассопереноса в бетонных конструкциях // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 6. — С. 29–36.
8. Яворски Г. Исследование методов повышения коэффициента использования воды при тушении малых пожаров внутри современных зданий : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ, 1979. — 28 с.
9. Нго Ван Сиен. Разработка рекомендаций по тушению пожаров текстильных материалов в складских помещениях : автореф. дисю. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ, 1984. — 21 с.
10. Федоров А. В., Членов А. Н., Лукьянченко А. А., Буцынская Т. А., Демёхин Ф. В. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. — 155 с.
11. Гундар С. В., Денисов А. Н. Критерии риска в подготовке слушателей Академии ГПС МЧС России к изучению действий работников организаций и граждан в случае обнаружения пожара // Вестник Академии Государственной противопожарной службы. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. — № 8. — С. 123–131.

Материал поступил в редакцию 30 мая 2011 г.

Электронные адреса авторов: dan_aleks@mail.ru;
alex07.70@mail.ru, sok44@yandex.ru, lcurina@mail.ru.



ООО “Издательство “Пожнаука”
121352, г. Москва, а/я 43
тел./факс: (495) 228-09-03, 737-65-74
e-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru
<http://www.firepress.ru>

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ООО “Издательство “Пожнаука” более 15 лет успешно работает в области информационного обеспечения. На страницах выпускаемой нами учебной, справочной, нормативной и научно-практической литературы публикуется информация для высококвалифицированных специалистов и руководителей. В наших изданиях Вы можете разместить сведения о продукции и услугах, предоставляемых Вашим предприятием.

Научно-техническая литература и периодика, выпускаемые ООО “Издательство “Пожнаука”, распространяются по всей территории Российской Федерации, в странах СНГ, Балтии и в ряде зарубежных стран.

Специализированный журнал “Пожаровзрывобезопасность”

Издается с 1992 г. Периодичность — 12 номеров в год. С октября 2001 г. журнал включен в Перечень периодических научных и научно-технических изданий РФ, рекомендуемых для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. В статьях журнала рассматриваются теоретические вопросы и способы практического обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования.

Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”

Издается с декабря 2004 г. Полноцветное рекламное научно-практическое издание. Публикует статьи рекламного и аналитического характера, модельный ряд, справочник по фирмам-производителям и услугам. Тематика Приложения посвящена проблемам комплексной безопасности строительных объектов, включая огнестойкость материалов и конструкций, пожаро- и взрывоустойчивость зданий и сооружений, новым технологическим решениям в области пожарной автоматики и сигнализации, а также проблемам сертификации и стандартизации.

Виды рекламы в журнале “Пожаровзрывобезопасность” и расценки на ее размещение

1. Реклама на обложке (полноцветная):

2-я полоса — 28 000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
3-я полоса — 25 000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
4-я полоса — 35 000 руб. + 2 черно-белых полосы бесплатно.

2. Рекламная статья: 1/1 черно-белой полосы — 15 000 руб.

3. Статья обзорно-аналитического, проблемного, научно-технического характера — бесплатно.

4. Рекламные вклейки:

Размер модуля	Стоимость полноцветного модуля, руб.
1/1 полосы (215 × 300 мм)	28 000
1/2 полосы (190 × 137 мм)	15 000

5. Реклама справочного характера (название компании, контактные данные, перечень предлагаемых услуг и продукции — 500 печатных знаков) — 2300 руб.

Тираж: 5000 экз.

Спецпредложение!

Для наших рекламодателей мы предоставляем возможность бесплатного распространения буклетов и листовок на выставках в г. Москве, в которых данный номер журнала будет принимать участие.

**ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ
В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Август 2011 г.

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
НОВИНКИ			
Книги написаны с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!			
	Своды правил. Системы противопожарной защиты. — 2009. — 618 с.	Электронная версия	500
	Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”. — 2010. — 150 с.		220
Антоненко А. А., Буцынская Т. А., Членов А. Н.	Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения безопасности объектов: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с.	978-5-91444-017-3	380
Бабуров В.П., Бабурин В.В., Фомин В.И.	Автоматические установки пожаротушения: учебно-справочное пособие. — 2010.		Готовится к выпуску
Корольченко А. Я.	Пожарная опасность материалов для строительства: учебное пособие. — 2009. — 217 с.	978-5-91444-013-5	350
Корольченко А. Я., Загорский Д. О.	Категорирование помещений и зданий по взрыво-пожарной и пожарной опасности. — 2010. — 118 с.	978-5-91444-015-9	250
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — 2011. — 320 с.	978-5-91444-021-X	350
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	Средства огне- и биозащиты. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.		БЕСПЛАТНО
Корольченко Д. А., Громовой В. Ю.	Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение. — 2010. — 94 с.	978-5-91444-014-02	140
Пилигин Л. П.	Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов. — 2010. — 380 с.	978-5-91444-016-6	450
Смелков Г. И.	Пожарная безопасность электропроводок. — 2009. — 328 с.	978-5-9901554-2-8	540
Черкасов В. Н., Зыков В. И.	Обеспечение пожарной безопасности электроустановок: ученое пособие. — 2010. — 430 с.	978-5-91444-020-3	470
Членов А. Н., Буцынская Т. А., Дровникова И. Г., Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И.	Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие: в 2 ч. — 2009. — Ч. 1. — 316 с.; Ч. 2. — 300 с.	978-5-91444-008-1	950
СУПЕРСКИДКИ			
Собурь С. В.	Заполнение проемов в противопожарных преградах: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с.	5-98629-005-4	90
Собурь С. В.	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2005. — 292 с.	5-98629-001-1	50
Собурь С. В.	Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: справочник. — 2005. — 88 с.	5-98629-004-6	36
Собурь С. В.	Установки пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с.	5-98629-003-8	150
Собурь С. В.	Установки пожаротушения автоматические: справочник. — Изд. 4-е, с изм. — 2004. — 408 с.: ил.	5-98629-008-9	50

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: учебное пособие. — 2007. — 383 с.	5-903049-09-5	220
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиный А. В.	Леса, торфяники, лесосклады. — 2007. — 358 с.	5-903049-12-5	220
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиный А. В.	Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: учебное пособие. — 2007. — 325 с.	5-903049-11-7	220
Шароварников А. Ф., Шароварников С. А.	Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — 2005. — 335 с.	5-903049-02-X	120
Бондарь В. А.	Электрооборудование для взрывоопасных и пожароопасных зон производств различных отраслей промышленности. — 2009. — 126 с.	978-5-91444-004-3	220
Брушлинский Н. Н., Корольченко А. Я.	Моделирование пожаров и взрывов. — 2000. — 492 с.		540
Грачев В. А., Поповский Д. В., Теребнев В. В.	Газодымозащитная служба: учебно-методическое пособие. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 328 с.	978-5-91444-007-4	350
Грачев В. А., Собурь С. В.	Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2007. — 224 с.: ил.	5-98629-006-2	345
Корольченко А. Я.	Процессы горения и взрыва: учебник. — 2007. — 266 с.: ил.	978-5-91444-001-2	450
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник; в 2 ч. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.	5-901283-02-3	2500
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	Средства огнезащиты. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил.	978-5-91444-010-4	540
Корольченко А. Я., Трушкин Д. В.	Пожарная опасность строительных материалов: учебное пособие. — 2006. — 232 с.	978-5-91444-006-7	250
Пилигин Л. П.	Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — 2000. — 224 с.: ил.	5-901283-03-1	240
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Справочник спасателя-пожарного: справочник. — 2006. — 528 с.	5-91017-019-8	385
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Шадрин К. В.	Основы пожарного дела: учебное пособие. — 2006. — 328 с.	5-91017-016-3	390
Теребнев В. В., Грачев В. А., Теребнев А. В.	Организация службы начальника караула пожарной части: пособие. — 2007. — 216 с.: ил.	5-901520-06-8-006-2	340
Теребнев В. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строительная подготовка: учебно-методическое пособие. — 2008. — 350 с.	5-91017-019-9	460
Теребнев В. В., Подгрушиный А. В.	Пожарная тактика. Основы тушения пожаров. — 2008. — 512 с.	5-91017-019-8	595
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Организация службы пожарной части: учебное пособие. — 2008. — 344 с.	5-98629-305-8	460

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Подгрушиный А. В., Грачев В. А.	Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре: учебное пособие. — 2006. — 304 с.	5-98135-004-0	330
Теребнев В. В., Шадрин К. В.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-профилактическая подготовка: учебное пособие. — 2007. — 270 с.	5-91017-019-8	420
	Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия		980

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

**ООО “Издательство “Пожнаука” предлагает подписку на 2011 г.
на комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность”
и “Пожарная безопасность в строительстве”.**

	Стоймость, руб.
ПОЛУГОДИЕ	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (6 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	3790
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	1140
ГОД	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (12 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	7580
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	2280

Подписка осуществляется через следующие агентства:

Название организации	Телефон/факс	Адрес	Индекс в каталоге
Агентство подписки и розницы “АПР”	(495) 974-11-11	123995, г. Москва, просп. Маршала Жукова, д. 4	83647
Агентство “РОСПЕЧАТЬ”	(495) 921-25-50	123995, г. Москва, просп. Маршала Жукова, д. 4	83340
Агентство “ИНТЕР-ПОЧТА”	(495) 500-00-60, 684-55-34	129090, г. Москва, пер. Васнецова, д. 4, стр. 2	—
Агентство “УРАЛ-ПРЕСС ХХI”	(495) 789-86-37, 789-86-36	125040, г. Москва, ул. Нижняя Масловка, д. 11-13	—
Агентство “Артос-ГАЛ”	(495) 981-03-24	г. Москва, ул. 3-я Гражданская, д. 3, стр. 2	107564
ООО “Информнаука”	(495) 787-38-73, 152-54-81	125190, г. Москва, ул. Усиевича, д. 20	—
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”	(495) 672-70-12, 672-72-34	111524, г. Москва, ул. Электродная, д. 10	—

Образец заявки для оформления заказа на литературу

Название организации (полностью), реквизиты (ИНН/КПП обязательно)
Наименование и количество заказываемой литературы
Вид доставки: • самовывоз; • почтовая (ВНИМАНИЕ! + 25 % от стоимости заказа)
Почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо

Для БЕСПЛАТНОГО получения справочника “СРЕДСТВА ОГНЕ-И БИОЗАЩИТЫ”:

1. Заполните все поля анкеты:

Название организации	
Профиль деятельности	
Почтовый адрес (индекс)	
Контактное лицо	
Должность	
Телефон рабочий	Код ()
Факс	Код ()
Способ получения (нужное отметить)	<input type="checkbox"/> Наложенным платежом (Вы оплачиваете только стоимость пересылки из г. Москвы до вашего города) <input type="checkbox"/> Курьером (по г. Москве) — стоимость 150 руб. <input type="checkbox"/> Самовывоз (со склада издательства “Пожнаука” в г. Москве)
Откуда узнали о справочнике (нужное отметить)	<input type="checkbox"/> Из журнала <input type="checkbox"/> Из интернет-рассылки <input type="checkbox"/> На выставке <input type="checkbox"/> На сайте издательства <input type="checkbox"/> Другое

2. Пришлите анкету удобным для Вас способом — по факсу или электронной почте.

*Желающие сделать заказ в “Издательстве “Пожнаука” (г. Москва)
могут отправить заявку в отдел распространения:*

- по почте: 121352, г. Москва, а/я 43;
- по тел./факсу: (495) 228-09-03, (495) 737-65-74, 8-909-940-63-94;
- по e-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны представлять собой результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры и краткие сообщения, комментарии и собственно нормативно-технические документы, справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные автора должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общезвестных 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 желательны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья должна быть представлена на бумажном и магнитном носителях или может быть послана в редакцию по электронной почте (mail@firepress.ru). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана авторами.

2. Текст статьи должен быть напечатан через 2 интервала без помарок и вставок на одной стороне стандартного листа формата А4 с левым полем 3 см. При первой ссылке на рисунки и таблицы в тексте на полях проставляются их номера.

3. Материал статьи излагается в такой последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- название статьи (на русском и английском языках);
- имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью), должности, степени, звания и название организации (полностью) (на русском и английском языках), фотографии авторов, контактные телефоны, почтовый и электронный адреса. Число авторов — не более трех от одной организации и не более четырех от разных организаций. Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках;
- аннотация (на русском и английском языках);
 - ключевые слова (на русском и английском языках);
- текст статьи;
- цитируемая литература;
- рисунки и подписи к ним.

4. Сокращения и условные обозначения физических величин должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. При возможности неоднозначного понимания формул и обозначений: показатели и другие надстрочные знаки отмечаются простым карандашом дугой \cup , а подстрочные — дугой \cap ; заглавные буквы подчеркиваются двумя черточками снизу, строчные — сверху (например, \underline{Q} и \bar{O}); греческие буквы подчеркиваются красным карандашом. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

5. Иллюстрации (на бумажном носителе и электронные 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 представляются в формате той программы, где они созданы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы.

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

7. Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования или по алфавиту. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Литература в списке дается на языке оригинала. 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.

8. Отклоненные статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

9. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

About Fire Danger of Styrene Polyfoams of Building Appointment

Guyumdzyan P. P., Dr. of Technics, Professor, the Deserved Inventor of Russia, Professor of Department "Fire Preventive Maintenance", Ivanovo State Institute of Fire Fighting Service of Emercome RF, Ivanovo, Russia

Kokanin S. V., Lecturer of Department "Fire Preventive Maintenance", Ivanovo State Institute of Fire Fighting Service of Emercome RF, Ivanovo, Russia

Piskunov A. A., Cand. of Technics, Associated Professor, Lieutenant Colonel of Internal Service, Head of Department "Fire Preventive Maintenance", Ivanovo State Institute of Fire Fighting Service of Emercome RF, Ivanovo, Russia

There are stated theoretical data on ignition and burning of styrene polyfoams which have found wide application, both for external, and for internal furnish of buildings and constructions. Process of oxidising destruction of expanded polystyrene's cellular structure under the influence of heats is described. Results of experimental researches of foam polystyrene materials burning are resulted. On the basis of the analysis of references and the presented experimental data expanded polystyrene possesses high degree of fire danger.

Keywords: foam polystyrene; building; thermal protection; fire danger; toxicity; oxidising destruction; burning.

Fire Danger of Binary Organic Solvents for Liquid Chromatography

Rudakov O. B., Dr. of Chemistry, Professor, Head of Physics and Chemistry Department of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Voronezh, Russia

Kalach A. V., Cand. of Chemistry, Associated Professor, Deputy Head on Scientific Work of Voronezh Institute of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Voronezh, Russia

Cherepakhin A. M., Postgraduate Student of Physics and Chemistry Department of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Voronezh, Russia

Isaev A. A., Head of Educational Department of Voronezh Institute of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Voronezh, Russia

Flash points of binary organic solvents hexane — the modifier (isopropyl alcohol, tetrahydrofuran, dioxane, chloroform), used in liquid chromatography, are defined.

Keywords: binary organic solvents; fire characteristics; flash point; liquid chromatography.

Nitrogenphosphorous-Bearing Fire-Retardant Compositions on the Basis of Aminolysis Products of Polyurethanes

Balakin V. M., Cand. of Chemistry, Professor of Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Garifullin D. Sh., Postgraduate Student of Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Islentyev S. V., Student of Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

Nitrogenphosphorous-bearing fire-retardant compositions have been received on the basis of aminolysis products moulding polyurethanes of a various structure. The valuation of primary fire-retardant efficiency of compositions was taken on the equipment of type OTM. Possibility of reception on the basis of an aminolysis products of a polyurethane of effective fire-retardant compositions for wood is shown.

Keywords: polyurethanes; aminolysis; fire-retardant composition.

Dynamics of Foaming of Fire Protection Coatings Based on Organic-Inorganic Compositions

Nenakhov S. A., Cand. of Chemistry, Senior Research Assistant of RPE "Teplochim", Moscow, Russia

Pimenova V. P., Cand. of Chemistry, Deputy of Director of Scientific Effort of RPE "Teplochim", Moscow, Russia

We experimentally studied the laws of foaming of fireproof coatings based on organic-inorganic compounds formed on the foaming properties of the classical triad of ammonium polyphosphate, melamine, pentaerythritol and film-former — the copolymer of vinyl acetate. It is shown that a wide range of temperature and time in the conditions of standard temperature fire initially recorded an increase in foam volume and its subsequent collapse, which reaches about half of the maximum foam volume. With increase in a thickness of an initial coating the thickness of the made foam layer nonlinear increases: with growth of a thickness of an initial coating the foaming gain decreases. Morphological transformations can distinguish different states: the mass of foam (from about 200 °C), coke foam mass (starting with the temperature about 450 °C) and foam ash (from ambient temperature about 730 °C). The collection of the data shows that the increase in the foam mass is accompanied by a reduction from the outset, since foaming and a reductive function of foam are the result of a single process — the thermal decomposition. Both processes take place almost simultaneously, are quite similar kinetic constants, but they are localized in different parts of the system, separated by a layer of foam mass. Correlating these processes inherent in the volume effects, we can say that the coefficient of efficiency of the foaming process in this type of material is no more than 40 %, loss — not less than 60 %.

ABSTRACTS

Keywords: foaming; foamed coke; foamed ash; collapse of the foam; layer thickness; morphology; granular-porous structure; the kinetics of foaming; rate the effectiveness of the foaming.

Percolation Model of Fire Development

Abdulaliev F. A., Postgraduate Student of Saint-Petersburg University of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Saint-Petersburg, Russia

Motorygin Yu. D., Cand. of Technics, Associated Professor, Professor of Saint-Petersburg University of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Saint-Petersburg, Russia

In our thesis we show that alongside deterministic models of fires. It is possible to use stochastic percolation models. The percolation model represents the spreading of the process through the grid where there is at least one continuous way through adjacent nodes from the one side to the opposite one. These models of fires let us investigate the fire development on complex building sites and natural objects.

Keywords: mathematical models; percolation process; percolation models; fire development.

Mathematical Simulation of Forest Fuel Layer Ignition by Focused Flow of Sunlight

Baranovskiy N. V., Cand. of Physics-Mathematics, Senior Research Assistant of Isolate Organization Development of Scientific-Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Forest fuel layer ignition conditions analysis by focused flow of sunlight is lead. Scenarios of simulation corresponds to occurrence of forest fire as result of focused flow of sunlight influence on forest fuel layer. Scenarios calculations taking into account various intensity of radiation are lead. Recommendations on the further development of this component of determined model are submitted.

Keywords: ignition; forest fuel; chemical reaction; glass; focused sunlight.

Phosphoric Fire (Ozhydov, Ukraine): Lessons and New Approach to the Management Risks of Fires and Burnings Origin

Oshchyapovskiy V. V., Cand. of Chemistry, Associate Professor of L'vov University of Safety of Vital Activity, L'vov, Ukraine

Koval M. S., Cand. of Pedagogic, Professor, First Pro-rector of L'vov State University of Safety of Vital Activity, L'vov, Ukraine

Mirus A. L., Cand. of Chemistry, Associate Professor, Head of Department of L'vov State University of Safety of Vital Activity, L'vov, Ukraine

An incident with the phosphorus burning at his transporting on territory of Ukraine and his extinguishing is analysed. The possible consequences of influence of the burning products on an environment are appraised. The method of increase of fire-explosion-safety level of combustible and toxic matters and materials at their transportation and storage on a transport and depot of temporal storage is offered.

Keywords: fire; burning of phosphorus; signs of danger.

Motorcycles Burning Investigation

Yesin V. M., Dr. of Technics, Professor of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Nguyen X. H., Postgraduate Student of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

The experimental investigation of burning motorcycles is provided. Temperature regime of burning motorcycles, spread of combustion process and visualization of the arising combustion products in testing area conditions are studied and shown in the article.

Keywords: motorcycle; fire hazard; temperature regime.

Investigation of Factors Affecting the Management of the Fire Brigade When Extinguishing Fire in the Premises

Denisov A. N., Cand. of Technics, Associate Professor, Associate Professor of Fire Tactics and Service Department of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Lukjanchenko A. A., Cand. of Technics, Research Assistant of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Sokolov A. V., General Director of "Delta-S" Ltd, Moscow, Zelenograd, Russia

Grigoriev A. N., Senior Lecturer of Academy of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Some results of experimental investigations of fire hazards affecting the choice of deciding the direction of the introduction of fire extinguishing facilities in rooms with gas exchange is reduced.

Keywords: fire; extinguishing; method; management; localization of fire; initial stage of fire; hazards of fire; smoke; gassing materials; fire detector.

Председатель Редакционного совета:

д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко

Зам. председателя Редакционного совета:

д.т.н., профессор, член-корреспондент НАНПБ
Ю. М. Глуховенко

д.т.н., профессор, академик Нью-Йоркской академии наук
В. В. Мольков

д.т.н., профессор В. П. Назаров

Редакционный совет:

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

д.т.н., профессор Н. М. Барбин

д.т.н., профессор, академик РАЕН,
заслуженный деятель науки РФ Н. Н. Брушинский

к.т.н., профессор Е. Е. Кирюхантцев

к.т.н. Д. А. Корольченко

к.т.н. В. А. Меркулов

д.т.н., профессор, академик РАЕН
А. В. Мишуев

д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ
В. М. Ройтман

д.т.н., профессор,
действительный член НАНПБ Б. Б. Серков

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

д.т.н., профессор, академик РАЕН, НАНПБ
Н. Г. Топольский

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

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

профессор Т. Дж. Шилдс

д.т.н., профессор, академик и почетный член РАЕН
В. В. Холщевников

Редакция:

Главный редактор журнала
д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко

Шеф-редактор
Н. Н. Соколова

Редактор
Л. В. Крылова

Chairman of Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy
of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko

Deputy of Chairman of Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member
of the National Academy of Fire Science Yu. M. Gluhovenko

Dr.Sc.(Eng.), Professor, an Active Member of the New-York Academy
of Sciences V. V. Molkov

Dr.Sc.(Eng.), Professor V. P. Nazarov

Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science, the Honoured Scientist of the Russian Federation
A. N. Baratov

Dr.Sc.(Eng.), Professor N. M. Barbin

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy
of Natural Sciences, the Honoured Scientist of the Russian
Federation N. N. Brushlinsky

Cand.Sc.(Eng.), Professor E. E. Kiryuhantsev

Cand.Sc.(Eng.) D. A. Korolchenko

Cand.Sc.(Eng.) V. A. Merkulov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy
of Natural Sciences A. V. Mishuev

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
V. M. Roitman

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science B. B. Serkov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member
of the National Academy of Fire Science S. V. Puzach

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy
of Natural Sciences, National Academy of Fire Science
N. G. Topolskiy

Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of International Academy
of Ecology and Life Safety N. A. Tyichino

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy
of Fire Science Yu. N. Shebeko

Professor Thomas Jim Shields

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician and the Honoured Member
of the Russian Academy of Natural Sciences
V. V. Kholshchevnikov

Editorial Office:

Deputy Editor-in-Chief

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy
of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko

Editor-in-Chief
N. N. Sokolova

Editor
L. V. Krylova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнauка”

Тел./факс: (495) 228-09-03, (495) 737-65-74, 8-909-940-63-94

121352, г. Москва, а/я 43

E-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru

<http://www.firepress.ru>

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 02.08.11.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Здравствуйте, наши дорогие читатели!

Издательство “Пожнauка” предлагает Вам оформить годовую или полугодовую подписку на журналы “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве” на 2011 г.

Подписка на полугодие включает в себя шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность” и три номера журнала “Пожарная безопасность в строительстве”. Стоимость полугодовой подписки на комплект составляет 3790 руб.

Годовая подписка включает в себя двенадцать номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность” и шесть номеров журнала “Пожарная безопасность в строительстве”. Стоимость годовой подписки на комплект составляет 7580 руб.



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА на журнал пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ КУПОН '2011

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве”: полугодие год	3790 7580		
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”: полугодие год	1140 2280		

- Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо. В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим заполнить карточку на обороте купона. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 737 65 74 или по e-mail: mail@firepress.ru в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.
- Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121357, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810600000000119
БИК 044583119
Главный редактор — Корольченко Александр Яковлевич

*По вопросам подписки прошу обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 737-65-74*

ПОДПИСКА:

через ООО “Издательство “Пожнauка”;

через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;

через агентство “АПР”, индекс 83647

(в любом почтовом отделении в каталоге “Газеты и журналы”);

через подписные агентства:

ООО “Интер-почтa”, ООО “Урал-Пресс XXI”,

ООО “Артос-ГАЛ”, ООО “Информнаука”, ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”

Вы можете также отдельно подписатьсь на журнал "Пожарная безопасность в строительстве".

Стоимость полугодовой подписки (три номера) составляет 1140 руб. Стоимость годовой подписки (шесть номеров) составляет 2280 руб.

Расширяя тематику журнала, в 2011 г. редакция планирует увеличить количество обзоров, посвященных состоянию отечественного рынка средств обеспечения пожарной безопасности. В журнале также будут опубликованы тексты основных нормативных документов в сфере пожарной безопасности и комментарии ведущих специалистов к ним, даны необходимые пояснения.

**Редакция с благодарностью примет все замечания и пожелания
по тематике журнала и содержанию публикуемого материала.
Надеемся на длительное и плодотворное сотрудничество!**



Карточка учета сведений о подписчике

Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами)	
Идентификационный номер (ИНН)	
Код отрасли по ОКОНХ	
Код отрасли по ОКПО	
Полное наименование банка	
Местонахождение банка	
БИК	
Расчетный счет	
Корсчет	
Юридический адрес (в соответствии с учредительными документами)	
Фактический адрес	
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС	
Индекс	
Область, край	
Город	
Улица	
Дом	
Телефон	
Факс	
Контактное лицо	
Телефон контактного лица	



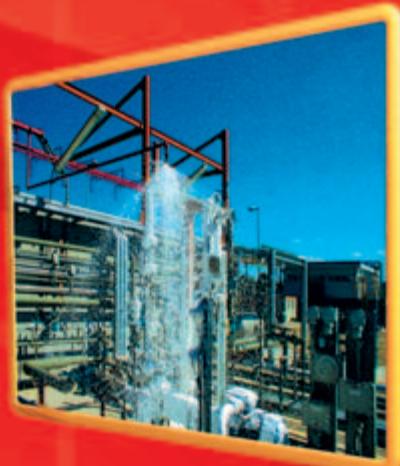
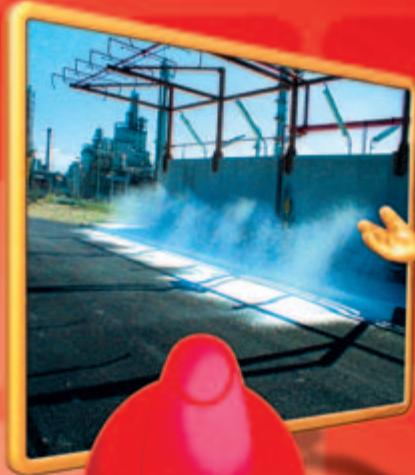
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

121352, г. Москва,
ул. Давыдковская, д. 12, стр. 3
Тел./факс: (495) 735-28-13
E-mail: gefest-fire@mail.ru
www.gefestnpk.ru

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Шторм-М 3/6

**высокоэффективный
пленкообразующий
синтетический
фторсодержащий
пенообразователь
типа АFFF специального назначения
для получения пены низкой, средней
и высокой кратности.**



Низкая кратность способствует быстрому образованию водяной пленки, которая самопроизвольно растекается по поверхности. Пенообразователь может подаваться на большие расстояния и использоваться со стандартной российской техникой для получения пены средней кратности. С помощью пенообразователя можно получать пену высокой кратности на генераторах без принудительного наддува, это придает ему универсальность использования.

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

РЕКЛАМА