

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ 10'2010

Реализация модели распространения верхового лесного пожара с использованием технологии параллельного программирования

Решение проблемы определения признаков пожара в технологических процессах, связанных с нагревом технологической среды до критических температур

Трудногорючий вибродемптирующий материал



Управление пожарными и спасательными подразделениями при проведении мероприятий с массовым сосредоточением людей

Статистический анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах

Воспламенение смесей хлорметана с хлором под действием ультрафиолетового излучения



Пожнаука

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 19 • № 10 • 2010 FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

Журнал издается с 1992 г. Выходит 12 раз в год

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

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

Полетаев Н. Л. О методе экспериментальной оценки нормальной скорости горения аэровзвеси

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Беликов А. К., Никитин И. С., Бегишев И. Р. Воспламенение смесей хлорметана с хлором под действием ультрафиолетового излучения

ОГНЕЗАЩИТА

Вагин С. Ю., Васин В. П., Здорикова Г. А., Рудакова Т. А. Трудногорючий вибродемпфирующий материал
Рыбка Е. А., Андронов В. А. Лабораторная установка для оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий для металлических конструкций с учетом параметров развития реального пожара

Тимофеева С. В., Малысова А. С., Хелевина О. Г. Защитные материалы пониженной пожарной опасности. Модификация силоксановых покрытий соединениями алюминия

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ

Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Пространственная постановка задачи о зажигании хвойного дерева наземным грозовым разрядом
Катаева Л. Ю., Ухова И. И., Куркин А. А., Катаева Н. А. Реализация модели распространения верхового лесного пожара с использованием технологии параллельного программирования

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Сенько Д. Г., Полхлебов И. П., Мельничук В. В. Решение проблемы определения признаков пожара в технологических процессах, связанных с нагревом технологической среды до критических температур (сушка)

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

Денисов И. П., Подгрушный А. В., Денисов А. Н. Управление пожарными и спасательными подразделениями при проведении мероприятий с массовым сосредоточением людей

СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

Акинин Н. И., Булхов Н. Н., Гериш В. А. Статистический анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах

ДИСКУССИИ

Тарантsev A. A. О некоторых положениях статьи "Функционирование системы мониторинга безопасности объектов в составе ЕДДС"

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

CONTENTS

COMBUSTION PROCESSES

2 Poletaev N. L. Experimental Estimation of Normal Speed of Dust-Air Mixture Burning

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

9 Belikov A. K., Nikitin I. S., Begishev I. R. The Ignition of Chloromethane and Chlorine Gas Mixtures under UV-Light

FIRE RETARDANCE

13 Vagin S. Yu., Vasin V. P., Zdorikova G. A., Rudakova T. A. Low combustible vibrodumpeening material

19 Rybka E. A., Andronov V. A. Laboratory Installation for an Estimation of Fireproof Efficiency of Reactive Coverings for Metal Constructions Taking into Account Parameters of Development of a Real Fire

25 Timofeeva S. V., Malyasova A. S., Khelevina O. G. Fireproof Protective Materials. Modification Siloxan Protective Materials by Compounds of Aluminium

FIRE MODELING

30 Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. The Spatial Definition of a Problem About Coniferous Tree Ignition by Surface Storm Discharge

38 Kataeva L. Yu., Ukhova I. I., Kurkin A. A., Kataeva N. A. Realization of Riding Forest Fire Spreading Model Using Parallel Programming Technology

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

41 Sen'ko D. G., Polhlebov I. P., Melnichuk V. V. The Problem of Fire Indicators Determination During Technological Processes that Are Connected with Technological Sphere Heating Till Critical Temperatures (Drying)

FIRE SAFETY OF PEOPLE

46 Denisov I. P., Podgrushny A. V., Denisov A. N. Management of Fire and Rescue Units in Carrying Out Activities with a Massive Concentration of People

STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

53 Akinin N. I., Bulhov N. N., Gerish V. A. The Statistical Analysis of Reasons of Accident and Industrial Injuries on Dangerous Industrial Objects

DISCUSSION

56 Tarantsev A. A. About Some Positions of Article "Functioning of System of Monitoring of Safety of Objects in Structure EDDS"

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 ВИНТИ 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



Н. Л. Полетаев

д-р техн. наук,
ФГУ ВНИИПО МЧС России,
г. Балашиха МО, Россия

УДК 614.841.4

О МЕТОДЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ НОРМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ АЭРОВЗВЕСИ

Отмечены особенности определения и практического использования понятия "нормальная скорость распространения пламени" для аэровзвесей. Утверждается, что с учетом характерного для аэровзвесей относительного движения фаз методы экспериментального исследования данной скорости могут существенно отличаться от аналогичных методов исследования для горючих газовоздушных смесей. Показано, что в рамках кондуктивного механизма распространения пламени максимальная нормальная скорость горения взвеси сферических частиц горючего одного диаметра в воздухе по порядку величины совпадает со скоростью горения цилиндрического образца этого горючего, имеющего тот же диаметр. Правомерность данного вывода иллюстрируется результатами экспериментальных исследований горения целлюлозы.

Ключевые слова: аэровзвесь; нормальная скорость горения; скорость горения волокон.

Введение

Основной фундаментальной величиной, характеризующей процесс дефлаграционного распространения пламени по однородной смеси горючего с окислителем, считается нормальная скорость горения U_n [1]. Классическим примером смеси, характеризуемой этим показателем, является смесь горючего газа с воздухом. В то же время горение аэровзвеси (распыленных в воздухе мелких частиц твердого горючего материала), внешне весьма похожее на горение газовоздушной смеси, не принято характеризовать параметром U_n . На практике динамика горения аэровзвесей характеризуется другим параметром, имеющим косвенное отношение к рассматриваемому здесь процессу, — максимальной скоростью нарастания давления взрыва турбулентной аэровзвеси в герметичной камере [2]. Отказ от использования параметра U_n усложняет качественное сравнение аэровзвесей различных дисперсных материалов по уровню пожаровзрывоопасности [3] и создает проблемы для численного моделирования распространения пламени в аэровзвесях. Таким образом, исследования, связанные с оценкой нормальной скорости горения U_n аэровзвесей, следует считать весьма актуальными.

Причиной того, что параметр U_n не нашел широкого использования в качестве характеристики гор-

ения аэровзвеси, является отсутствие единого мнения о возможности применения термина "нормальная скорость горения" к аэровзвесям, а среди тех, кто не сомневается в такой возможности, — отсутствие единого мнения о методе экспериментального определения U_n для аэровзвеси. По нашему мнению, разногласие по упомянутым выше вопросам вызвано тем обстоятельством, что параметр U_n для аэровзвеси носит сугубо теоретический характер. Действительно, по аналогии с газовоздушными смесями величину U_n для аэровзвеси следует рассматривать как скорость движения плоской волны ламинарного горения относительно неподвижного, однородного и изотропного пылевоздушного облака. При этом подразумевается, что упомянутые в данном определении характеристики "плоское пламя" и "однородное и изотропное облако" относятся соответственно к слаженной зоне температурных градиентов и усредненным удельным параметрам взвеси, причем масштаб, на котором производятся упомянутые выше слаживание и усреднение, намного превосходит среднее расстояние между соседними частицами (характерный масштаб неоднородности распределения горючего). Теоретический характер параметра U_n обусловлен, в первую очередь, требованием неподвижности исходной взвеси, предполагающим, в частности, отсутствие гравита-

ционного оседания частиц. Обеспечить выполнение данного требования на практике, как правило, невозможно из-за труднодоступности основного условия его реализации — невесомости.

Лишь для некоторых аэровзвесей очень мелких частиц, способных, несмотря на действие ускорения силы тяжести, “зависать” в воздухе, возможно экспериментальное определение U_n методом “горелки” [4], заимствованным из арсенала методов исследования газовоздушных смесей. С увеличением размера частиц взвеси возникает заметное относительное движение ее фаз, нарушающее изотропность аэровзвеси, становится возможной ее автотурбулизация, и попытки экспериментальной оценки нормальной скорости горения U_n заметно осложняются. В этом случае умышленно исключают неподвижность аэровзвеси, добиваясь только ее однородности и изотропности путем достаточно интенсивной турбулизации аэродисперсной системы в герметичной сферической камере. Исследуя горение такой системы по аналогии с соответствующим исследованием турбулентных газовоздушных смесей [5], можно определить турбулентную скорость выгорания аэровзвеси $U_{b,t}$. По той же аналогии отношение $F = U_{b,t}/U_n$ для аэровзвеси именуется фактором турбулизации. Формально величина U_n для аэровзвеси должна быть тем пределом, к которому стремится $U_{b,t}$ по мере снижения уровня турбулентности горящей смеси ($F \rightarrow 1$). Данное условие определяет реальную связь теоретического параметра U_n с экспериментально измеряемыми характеристиками горения турбулизованной аэровзвеси и может быть положено в основу соответствующего метода экспериментальной оценки нормальной скорости горения U_n . Следует, однако, отметить, что уровень турбулентности, обеспечивающий изотропность взвеси, нельзя опускать сколь угодно низко, поэтому прогноз величины U_n в рамках данного метода оценки может иметь значительную погрешность. В ряде работ (например, [6]) фактору турбулизации аэровзвеси присваивают характерное, по мнению авторов этих работ, значение $F \approx 4$, что позволяет избежать описанной выше процедуры поиска предела, но лишает уверенности в объективности полученного значения U_n . В [7] предложен экспериментальный метод оценки фактора турбулизации для аэровзвеси, однако этот способ не универсален, весьма сложен и далеко не очевиден. Все это стимулирует поиски новых подходов к оценке значений нормальной скорости горения U_n аэровзвесей.

К числу аэровзвесей, для которых объективность экспериментальной оценки нормальной скорости горения вызывает наименьшие сомнения, относятся так называемые стационарные аэровзвеси. Стационарные аэровзвеси представляют собой отло-

жения расщепленных мелкодисперсных волокнистых горючих материалов (дисперсность волокна определяет его поперечный размер) со среднеобъемной плотностью, характерной для обычных (нестационарных) горючих аэровзвесей. В стационарных аэровзвесях фактор начального движения горючей смеси исключен, что упрощает постановку опытов по определению нормальной скорости горения таких смесей. В частности, нормальная скорость горения U_n отложений тополиного пуха совпадает с видимой скоростью распространения пламени в таком отложении в горизонтальном направлении [8].

Разумно предположить, что результаты исследования параметра U_n для стационарных аэровзвесей можно распространять на обычные (нестационарные) аэровзвеси мелкодисперсных материалов близкого химического и дисперсного состава. С целью обоснования данного предположения и дальнейшего развития результатов [8] при выполнении настоящей работы поставлены следующие задачи:

1) аналитически обосновать утверждение о том, что перечисленные ниже скорости являются величинами одного порядка:

- скорость распространения плоского пламени по неподвижной взвеси монодисперсного материала (выражающая теоретическое представление о нормальной скорости горения нестационарной аэровзвеси данного материала);
- видимая скорость распространения плоского пламени по стационарной аэровзвеси из волокнистого материала того же химического состава и дисперсности;
- скорость распространения пламени по отдельно взятому волокну;

2) экспериментально исследовать зависимость скорости распространения пламени по волокну растительного происхождения (целлюлозы) от диаметра волокна.

Аналитические оценки

Оценим скорость распространения пламени по следующим трем модельным конфигурациям твердых горючих веществ одинакового дисперсного и химического состава (целлюлоза), помещенным в воздушную атмосферу: неподвижной взвеси монодисперсных сферических частиц (№ 1);циальному цилиндрическому волокну (№ 2); пухообразной совокупности монодисперсных цилиндрических волокон (№ 3).

Конфигурация № 1

Рассмотрим процесс распространения пламени по неподвижной взвеси монодисперсных сферических частиц целлюлозы диаметром d_s (рис. 1). Ра-

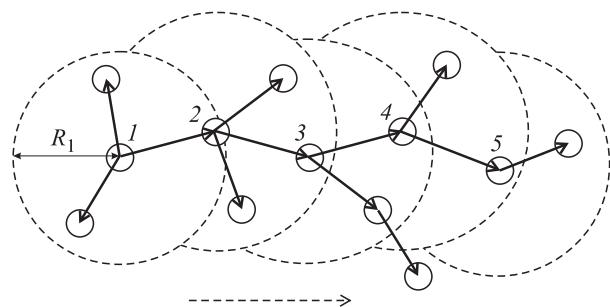


Рис. 1. Схема распространения пламени по неподвижной взвеси частиц горючего в воздухе: —— общее направление движения пламени

зумно предположить, что при не слишком мелких частицах ($d_s \geq 10$ мкм) фронт пламени в рассматриваемой аэровзвеси представляет собой совокупность диффузионных микропламен вокруг отдельных частиц, а процесс распространения пламени происходит эстафетным образом — вследствие передачи пламени от горящих частиц к соседним, негорящим. Считаем, что горящая частица окружена сферической высокотемпературной зоной с радиусом R_1 и температурой T_b . Воспламенение оказавшейся в данной зоне новой частицы, сопровождающееся образованием вокруг нее аналогичной высокотемпературной зоны, происходит с задержкой τ_1 . Считается, что τ_1 определяется в основном временем, в течение которого новая частица нагревается от начальной температуры свежей взвеси T_0 до температуры воспламенения этой частицы T_i . Здесь под температурой воспламенения понимается такая температура частицы, при которой скорость выделения частицей в окружающее пространство паров (летучих) достаточна для создания вблизи частицы горючей паровоздушной смеси.

В рассматриваемом механизме распространения пламени передача тепла от продуктов горения в свежую смесь осуществляется на основе использования теплопроводности газовой фазы. Радиационная составляющая теплового потока от продуктов горения в непрозрачную для излучения свежую взвесь не учитывается. Это объясняется результатами многочисленных исследований (например, [4]), согласно которым радиация продуктов горения имеет второстепенное значение при оценке скорости распространения пламени по аэровзвеси. Не учитывается также возможное одновременное тепловое воздействие нескольких горящих частиц на частицу свежей взвеси, которое может повлиять на эффективное значение R_1 , но не меняет характера зависимости скорости пламени от определяющих параметров задачи.

Предложенная выше схема распространения пламени для рассматриваемой конфигурации горючего приводится на рис. 1. Частицы на рисунке обозначены малыми окружностями. Направление передачи пламени между соседними частицами показано стрелками. Жирными стрелками выделена часть эстафеты ($1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow \dots$), определяющая скорость пламени в выбранном направлении. Дуги больших окружностей, изображенные пунктиром, показывают границу высокотемпературных зон, последовательно образующихся вокруг нумерованных частиц.

В рамках рассматриваемой схемы процесса оценка скорости движения пламени U_1 принимает следующий вид:

$$U_1 \approx R_1/\tau_1. \quad (1)$$

Оценим τ_1 . Поток тепла j_1 в частицу диаметром d_s с начальной температурой T_0 , помещенную в газовую среду с температурой T_b , по порядку величины составляет:

$$j_1 \approx \lambda s_1 (T_b - T_m)/d_s,$$

где λ — средняя теплопроводность газовой среды; s_1 — площадь поверхности частицы; $s_1 = \pi d_s^2$; T_m — средняя температура нагреваемой частицы; $T_m = (T_i + T_0)/2$.

Энергия q_1 , необходимая для нагрева частицы (изменением температуры по ее объему пренебрегаем) от T_0 до T_i , составит:

$$q_1 = \rho_s^0 c_s v_1 (T_i - T_0),$$

где c_s — теплоемкость материала частицы; v_1 — объем частицы; $v_1 = \pi d_s^3/6$.

Отсюда получаем выражение

$$\tau_1 = \frac{q_1}{j_1} \approx d_s^2 \frac{\rho_s^0 c_s}{6\lambda} \frac{T_i - T_0}{T_b - T_m}. \quad (2)$$

Конфигурация № 2

Рассмотрим процесс распространения пламени со скоростью U_2 по отдельному монодисперсному волокну. На рис. 2 представлена схема расположе-

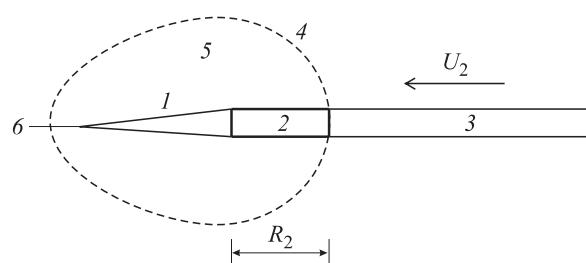


Рис. 2. Схема расположения объектов, характеризующих стационарное горение отдельного цилиндрического волокна (в системе координат с покоящимся пламенем): 1 — выгорающая часть волокна с тлеющим коксовым остатком 6; 2 — прогреваемый средний участок волокна; 3 — нетронутое пламенем свежее волокно; 4 — граница (пунктир) высокотемпературной зоны 5

ния основных элементов рассматриваемой горящей системы в системе координат, где пламя покоится, а волокно и окружающий воздух надвигаются на пламя со скоростью U_2 . Условно волокно можно разбить на три части: выгорающую часть конусообразной формы с коксовым остатком, прогреваемый пламенем (подготавливаемый к воспламенению) средний участок волокна длиной R_2 и оставшуюся часть свежего волокна.

В рамках рассматриваемого процесса распространения пламени оценка скорости U_2 основывается на следующем условии. Поток тепла j_2 в волокно на среднем участке обеспечивает прогрев поступающих в высокотемпературную зону свежих порций волокна от температуры T_0 в начале участка до температуры T_i на его конце:

$$j_2 = \rho_s^o c_s (T_i - T_0) s_2 U_2, \quad (3)$$

где s_2 — площадь сечения свежего волокна;

$$s_2 = \pi d_s^2 / 4.$$

Поток тепла j_2 в средний участок, вообще говоря, состоит из двух частей: потока по газовой фазе от высокотемпературной зоны и потока по твердой фазе вдоль волокна (от нагретого конца к холодному). Параметры данных потоков по порядку величины соотносятся как R_2/d_s . Поскольку R_2 составляет величину порядка среднего расстояния между частицами взвеси, то $R_2 \gg d_s$, и вторым потоком можно пренебречь. Таким образом,

$$j_2 = \lambda s_2 (T_b - T_m) / d_s, \quad (4)$$

где s_2 — площадь боковой поверхности среднего участка волокна; $s_2 = \pi d_s R_2$;

T_m — средняя температура волокна на данном участке; $T_m = (T_i + T_0)/2$.

Учитывая совпадение поперечного размера волокна и частицы, следует ожидать, что по порядку величины

$$R_2 \approx R_1. \quad (5)$$

Из (1) – (5) следует, что по порядку величины имеет место равенство

$$U_2 \approx U_1. \quad (6)$$

Конфигурация № 3

Рассмотрим процесс распространения пламени по неподвижной пукообразной совокупности монодисперсных волокон (стационарной аэровзвеси). Данный процесс представляет собой сочетание непрерывного движения микропламен вдоль отдельных волокон с “прыжками” (разветвлениями движения) этих пламен от горящих волокон к свежим, попавшим в высокотемпературную зону горящих волокон. Следовательно, скорость распространения пламени по стационарной аэровзвеси будет опреде-

ляться средним значением скорости упомянутых движений. Однако согласно полученным выше результатам (для конфигураций расположения горючего № 1 и 2) скорость движения пламени вдоль волокон по порядку величины совпадает со скоростью движения пламени в “прыжке”, поэтому для скорости распространения пламени по стационарной взвеси U_3 с учетом (6) справедливо соотношение

$$U_3 \approx U_2 \approx U_1. \quad (7)$$

Эксперимент

Объектами (далее — образцы) экспериментального исследования распространения пламени по отдельным волокнам в настоящей работе являлись три вида материалов растительного происхождения:

1) цилиндрическая часть деревянных зубочисток (диаметром 1,8 мм) и вырезанные из нее (лезвием стальной бритвы) щепки длиной от 15 до 32 мм. Форма поперечного сечения щепок была близка к квадрату, длина стороны которого принималась за поперечный размер образца. Поперечный размер щепок варьировался от 0,25 до 0,9 мм. Флуктуации поперечного размера щепок по длине контролировались визуально под микроскопом и составляли в среднем 20 %. Отклонение формы щепок от прямолинейной (по длине образца) было незначительным;

2) тонкие цилиндрические стебли травы тимофеевки на участке расположения семян. Форма поперечного сечения стеблей близка к кругу. Поперечный размер данных образцов варьировался от 90 до 200 мкм. Длина образцов составляла 15–20 мм;

3) очень тонкие цилиндрические стебли (носики) одуванчика, соединяющие семя с веером из простых волосков (летучкой). Форма поперечного сечения стеблей близка к кругу. Поперечный размер данных образцов изменялся от 60 до 80 мкм. Длина образцов составляла 10–13 мм.

Здесь и в дальнейшем рассматриваются образцы, подсушенные в условиях вентилируемого лабораторного помещения при комнатной температуре (влажность, как правило, не превышала 10 %). Разумно предположить, что образцы состоят в основном из волокон целлюлозы, т. е. полимера вида $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Все образцы обладали достаточной жесткостью, чтобы при удержании их за один из концов было обеспечено их горизонтальное расположение. Для исследования распространения пламени край образца длиной 1 мм вставляли в металлический зажим, позволяющий расположить свободную часть образца горизонтально на высоте около 10 мм от поверхности лабораторного стола. На расстоянии 50 мм по горизонтали с трех сторон от образца располагали вертикальный экран высотой 50 мм, не препятствующий наблюдению за движением пламени,

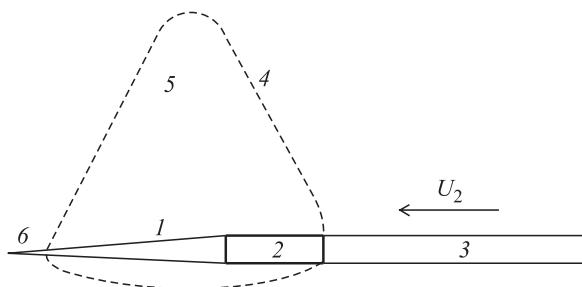


Рис. 3. Схема текущего положения объектов, характеризующих горение отдельного цилиндрического волокна (в системе координат с покоящимся пламенем). Обозначения объектов аналогичны обозначениям на рис. 2

но необходимый для устранения влияния на результаты эксперимента случайных горизонтальных потоков воздуха. Зажигание свободного конца образца производили пламенем спички. Во избежание предварительного прогрева тонких (диаметром менее 0,3 мм) и коротких (длиной менее 13 мм) образцов зажигание свободного конца образца осуществляли пламенем достаточно тонкой щепки. Для определения пройденного пламенем пути вдоль образца располагали линейку с ценой деления 1 мм.

С помощью покадрового просмотра видеозаписи процесса горения (цифровая видеокамера GZ-MG330, частота съемки — 25 кадров в секунду, время экспозиции — 0,007 с) определяли форму пламени и рассчитывали скорость его распространения вдоль образца. Точность определения скорости пламени составляла около 10 %. Результаты исследования скорости распространения пламени по образцам представлены в таблице.

Наблюдение за формой пламени показало, что при поперечном размере образца менее 0,3 мм форма пламени близка к той, которая приводится на рис. 2. При больших поперечных размерах образца форма пламени (в вертикальном сечении, проходящем через ось симметрии образца) приближается к треугольной (см. рис. 3).

Обсуждение результатов

Из соотношения (6) следует, что значение нормальной скорости горения аэровзвеси монодисперсного горючего U_1 по порядку величины совпадает со скоростью распространения пламени U_2 по отдельному волокну той же дисперсности и химиче-

ского состава. Данный результат дает возможность заменить трудоемкие и, как упоминалось во введении, неоднозначные по своей интерпретации исследования нестационарного турбулентного горения аэровзвеси, связанные с оценкой ее нормальной скорости горения, на весьма простое исследование стационарного горения моноволокна.

Попытаемся подтвердить соотношение (6) на примере экспериментально исследованных в настоящей работе волокон растений (целлюлозы). Нетрудно заметить, что приведенные в таблице результаты экспериментального исследования скорости распространения пламени по волокнам растительной целлюлозы в зависимости от дисперсности волокна допускают простое обобщение. В нижней строке таблицы приводятся значения комплекса $d_s U_2$, рассчитанные для каждого из представленных результатов опытов с волокнами различной дисперсности. Все значения комплекса принадлежат диапазону $(0,33 \pm 0,04) \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, т. е. с хорошей точностью могут быть заменены константой. Таким образом, для волокон целлюлозы справедливо соотношение

$$U_2 = K/d_s, \quad (8)$$

где $K \approx 0,33 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ — константа, которая в силу (7) может быть в равной степени использована для оценки как U_1 , так и U_3 .

Интересно отметить, что соотношение (8) выполняется во всем исследованном диапазоне дисперсности образцов (от 60 мкм до 1,8 мм), несмотря на существенное различие наблюдаемых форм пламени — сферической формы для “тонких” (менее 300 мкм) образцов и свечеобразной (конической) формы для “толстых” (более 600 мкм) образцов.

Представляется разумным распространить область определения (8) на более тонкие образцы ($d_s < 60 \text{ мкм}$) с учетом следующего замечания. Целлюлоза относится к газифицирующимся топливам. Для таких топлив согласно [9] при снижении дисперсности до уровня $d_s \approx 10^{-5} \text{ м}$ и ниже происходит переход от пламени, представляющего собой дискретную совокупность диффузионных микропламен вокруг горящих частиц, к сплошному гомогенному пламени, в предпламенной зоне которого происходит полная газификация частиц с образованием горючей газовоздушной смеси. В последнем случае скорость движения пламени перестает зависеть

Скорость распространения пламени по растительным волокнам

Природа образца	Древесина				Трава				
Поперечный размер $d_s, 10^{-3} \text{ м}$	1,80	0,90	0,45	0,25	0,20	0,16	0,09	0,08	0,06
Скорость пламени $U_2, 10^{-2} \text{ м/с}$	0,19	0,31	0,70	1,20	1,50	1,80	3,20	4,60	6,00
Комплекс $d_s U_2, 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$	0,34	0,29	0,32	0,30	0,30	0,29	0,29	0,37	0,36

сеть от d_s . Таким образом, соотношение (8) справедливо для $d_s \geq 10^{-5}$ м, причем для наименьшей дисперсности образца ($d_s \approx 10^{-5}$ м) расчетное значение скорости пламени, очевидно, должно соответствовать диапазону характерных значений нормальной скорости горения смеси газообразных углеводородов с воздухом (0,3–0,5 м/с).

Применим (8) для оценки скорости U_1 . Подставив в (8) минимально допустимое значение дисперсности образца ($d_s \approx 10^{-5}$ м), получим с учетом (6) значение $U_1 \approx 0,33$ м/с, которое вписывается в упомянутый выше диапазон нормальных скоростей горения газовоздушных смесей. Отметим также, что характер зависимости (8) соответствует известным аналитическим оценкам зависимости скорости распространения пламени по монодисперсной аэровзвеси от диаметра частиц: $U_1 \sim d_s^{-1}$ [10].

Применим (8) для оценки скорости U_3 . Для стационарной аэровзвеси целлюлозы с дисперсностью $d_s < 10^{-5}$ м имеем $U_3 \approx U_2$ ($d_s = 10^{-5}$ м) = 0,33 м/с. Полученное расчетное значение скорости пламени соответствует экспериментальному значению нормальной скорости горения тополиного пуха ($d_s \approx 6 \cdot 10^{-6}$ м), составляющему 0,3 м/с [8]. Предварительные эксперименты по распространению пламени стационарной аэровзвесью, представляющей собой отложение пуха одуванчика ($d_s \approx 1,5 \cdot 10^{-5}$ м), дали экспериментальное значение нормальной скорости горения около 0,25 м/с, которое весьма близко к значению 0,22 м/с, рассчитанному по (8).

Таким образом, имеющиеся в нашем распоряжении экспериментальные данные не входят в противоречие с соотношением (7). Данное соотношение, в частности, позволяет заметно упростить определение зависимости скорости U_1 как от параметров горючего (например, дисперсности, химической природы, влагосодержания), так и параметров состояния среды (например, давления, температуры, газового состава), подменив данное исследование изучением соответствующих зависимостей для параметра U_2 . Последнее исследование с учетом соотношения (8) можно проводить с достаточно крупными образцами, не испытывая трудностей как с техникой их зажигания, так и с регистрацией времени движения пламени по образцу с помощью обычного секундомера.

Проведем оценку критического (максимального) размера частиц взрывоопасной, т. е. способной распространять пламя, аэровзвеси, используя формальную аналогию между процессом турбулентного горения аэровзвеси и процессом турбулентного горения газовоздушных смесей. Известно, что нормальная скорость горения не может быть сколь угодно малой ввиду теплопотерь из зоны горения [1]. Для горючих газовоздушных смесей нормальная

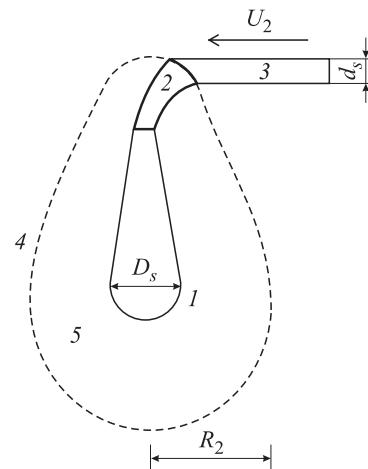


Рис. 4. Схема текущего положения объектов, характеризующих горение отдельного цилиндрического волокна из плавящегося материала. Обозначения объектов аналогичны обозначениям на рис. 2

скорость горения, как правило, не может опуститься ниже критического значения порядка 0,03 м/с. Если данное критическое значение приписать также скорости U_1 , то в соответствии с (8) искомая критическая дисперсность частиц целлюлозы составит около 100 мкм.

Завершая обсуждение полученных результатов, отметим, что они относятся к горючему из неплавящегося материала (в данной работе — к целлюлозе). При их обобщении на случай горючего из плавящегося материала (например, пластмассы или металла) необходимо учесть следующее обстоятельство. Участок выгорающего волокна для пламени, распространяющегося по волокну из плавящегося материала, будет иметь форму не конуса, как показано на рис. 2, а форму вытянутой в вертикальном направлении капли расплавленного материала. Поперечный размер капли, как показано на рис. 4, меняется от d_s в верхней части капли до максимально-го значения $D_s > d_s$ в ее нижней части. Отношение D_s/d_s будет зависеть от физико-химических свойств плавящегося материала и может быть определено экспериментальным путем. С изменением поперечного размера горящей капли будет меняться и поперечный размер пламени.

В силу конвективного всплыивания продуктов горения длина среднего (подготавливаемого к воспламенению) участка (поз. 2 на рис. 4) будет несколько больше, чем радиус пламени вокруг одиночной частицы из того же материала и той же дисперсности, и, по-видимому, в этом случае будет справедливо соотношение $U_2 \geq U_1$. В то же время разумно ожидать, что характер зависимости скоростей U_1 и U_2 от упомянутых выше параметров горючего и состояния среды будет одинаковым.

Заключение

Уточнено определение нормальной скорости распространения пламени по аэровзвеси. Аналитически обосновано утверждение о том, что перечисленные ниже скорости являются величинами одного порядка:

- скорость распространения плоского пламени по неподвижной взвеси монодисперсного материала (выражающая теоретическое представление о нормальной скорости горения нестационарной аэровзвеси данного материала);
- видимая скорость распространения плоского пламени по стационарной аэровзвеси из волокнистого материала того же химического состава и дисперсности;
- скорость распространения пламени по отдельно взятому волокну.

Аналитические оценки подтверждены как на основе известных экспериментальных данных, так и на основе экспериментального исследования скорости распространения пламени по волокнам растительного происхождения различной дисперсности. В частности, экспериментально показано, что скорость распространения пламени по волокну целлюлозы обратно пропорциональна диаметру волокна.

Результаты экспериментального исследования скорости распространения пламени по отдельно взятому волокну рекомендуются для оценки зависимости нормальной скорости горения аэровзвеси как от параметров горючего (например, дисперсности, химической природы, влагосодержания), так и параметров состояния среды (например, давления, температуры, газового состава).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зельдович Я. Б., Баренблatt Г. И., Либрович В. Б., Махвиладзе Г. М. Математическая теория горения и взрыва. — М. : Наука, 1980. — 478 с.
2. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 1991-01-01 // Сборник НСИС ПБ. — 2007. — № 3(31) (электронная версия).
3. Poletaev N. L. About estimation of dust explosibility // Proceedings of 2nd International Seminar "Fire-and-Explosion Hazard of Substances and Venting of Deflagrations", 11–15 August, Moscow, 1997. — Р. 779–786.
4. Шевчук В. Г., Безродных А. К., Бойчук Л. В., Кондратьев Е. Н. О механизме ламинарного пламени в аэровзвесях металлических частиц // ФГВ. — 1988. — Т. 24, № 2. — С. 85–89.
5. Карпов В. П., Северин Е. С. Турбулентные скорости выгорания пропано-воздушных пламен, определенные в бомбе с мешалками // ФГВ. — 1978. — Т. 14, № 2. — С. 33–39.
6. Kumar R. K., Bowles E. M., Mintz K. J. Large-Scale Dust Explosions Experiments to Determine the Effects of Scaling on Explosion Parameters // Combustion and Flame. — 1992. — Vol. 89. — P. 320–332.
7. Полетаев Н. Л. Взрывоопасность пылей : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : ВНИИПО, 1998. — 257 с.
8. Полетаев Н. Л. О распространении пламени тополиным пухом // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 6. — С. 4–13.
9. Burgoyne J. H., Cohen L. The effect of drop size on flame propagation in liquid aerosols // Proc. of the Royal Society. — 1954. — A225. — P. 375–392.
10. Palmer K. N. Dust explosions and fires. — Chapman and Hall, London, 1973. — 396 p.

*Материал поступил в редакцию 12 июля 2010 г.
Электронный адрес автора: nlpvniipo@mail.ru.*



А. К. Беликов
канд. техн. наук, доцент, заместитель
начальника кафедры Академии ГПС
МЧС России, г. Москва, Россия



И. С. Никитин
адъюнкт Академии
ГПС МЧС России,
г. Москва, Россия



И. Р. Бегишев
д-р техн. наук, профессор,
профессор Академии ГПС МЧС
России, г. Москва, Россия

УДК 544:614.81

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ СМЕСЕЙ ХЛОРМЕТАНА С ХЛОРОМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Экспериментально исследовано воздействие непрерывного УФ-излучения на газовые смеси $\text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}_2$. Изменены концентрационные пределы фототеплового воспламенения и установлена их зависимость от интенсивности УФ-излучения. Определена критическая интенсивность УФ-излучения, ниже которой смеси $\text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}_2$ не воспламеняются.

Ключевые слова: ультрафиолетовое излучение; фотовоспламенение; концентрационные пределы; хлорметан; хлор.

Газовые смеси $\text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}_2$ при зажигании электрическим искровым разрядом способны воспламеняться. В [1] указаны концентрационные пределы взрываемости таких смесей: нижний предел — 10,2 % об., верхний — 56,0 % об. Известно, что УФ-излучение во многих хлорсодержащих горючих газовых смесях выполняет роль источника зажигания [2], однако исследования фотовоспламенения смесей хлорметана с хлором не проводились.

Известно также, что свободный хлор поглощает УФ-излучение в диапазоне длин волн λ от 0,25 до 0,42 мкм с максимумом при $\lambda = 0,33$ мкм. В результате фотодиссоциации его молекул в этих системах образуются активные частицы Cl, которые являются начальными центрами фотохимической реакции. Скорость инициирования реакции W_i пропорциональна интенсивности УФ-излучения I_0 (моль/(с· м^2)), концентрации хлора C_{Cl_2} (моль/ м^3) и определяется из закона Бугера:

$$W_i = 2\varepsilon C_{\text{Cl}_2} I_0 \exp(-\varepsilon C_{\text{Cl}_2} x), \quad (1)$$

где ε — коэффициент поглощения, $\text{м}^2/\text{моль}$;

x — толщина слоя, м.

Под действием УФ-излучения в смесях хлорметана с хлором при низких температурах протекают главным образом реакции замещения атомов водо-

рода на атомы хлора, которые идут последовательно в три стадии:

- 1) $\text{CClH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_2\text{H}_2 + \text{HCl};$
- 2) $\text{CCl}_2\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_3\text{H} + \text{HCl};$
- 3) $\text{CCl}_3\text{H} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_4 + \text{HCl}.$

Каждая из стадий фотохлорирования углеводородов протекает по радикально-цепному механизму:

- 0) $\text{Cl}_2 + h\nu \rightarrow 2\text{Cl}$ — зарождение цепи
 - 1) $\text{Cl} + \text{RH} \rightarrow \text{R} + \text{HCl}$
 - 2) $\text{R} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{RCl} + \text{Cl}$
 - 3) $\text{R} + \text{R} \rightarrow \text{R}_2$
- 4) $\text{R} + \text{Cl} \rightarrow \text{RCI}$
 - 5) $\text{Cl} + \text{Cl} + \text{M} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{M}^*$
- } — продолжение цепи
- } — обрыв цепи

где R — галогеналкильный радикал;

$h\nu$ — квант излучения;

M — любая молекула;

M^* — возбужденная молекула.

Процесс фотовоспламенения исследовали по температурным зависимостям реакций фотохлорирования в цилиндрическом сосуде из нержавеющей стали диаметром 0,05 м и длиной 0,05 м. В качестве источника излучения использовали ртутно-кварцевую лампу ДРТ-1000 мощностью 1000 Вт, интен-

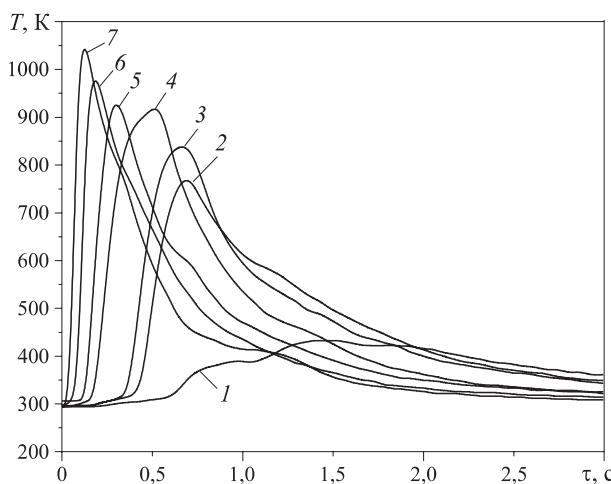


Рис. 1. Зависимость температуры от времени в центре реакционного сосуда при непрерывном действии УФ-излучения на смеси с мольной долей CCl_3 α : 1 — 0,05; 2 — 0,08; 3 — 0,09; 4 — 0,10; 5 — 0,15; 6 — 0,20; 7 — 0,25 ($T_0 = 293 \text{ К}$; $p_0 = 98 \text{ кПа}$; $I = I_0$)

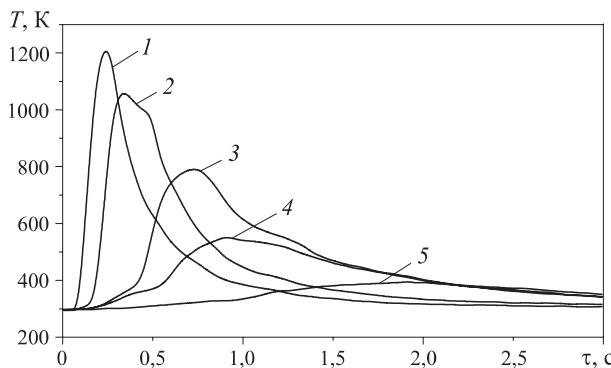


Рис. 2. Зависимость температуры от времени в центре реакционного сосуда при непрерывном действии УФ-излучения на смеси с мольной долей CCl_3 α : 1 — 0,55; 2 — 0,60; 3 — 0,70; 4 — 0,80; 5 — 0,90 ($T_0 = 293 \text{ К}$; $p_0 = 98 \text{ кПа}$; $I = I_0$)

сивность излучения которой, измеренная методом ферриоксалатной актинометрии, составила $I_0 = 2 \cdot 10^{21}$ квант/(с·м²). Температуру измеряли вольфрамрениевой микротермопарой ($d = 25 \cdot 10^{-6}$ м), установленной в центре реакционного сосуда. Для регистрации сигнала микротермопары использовали 16-разрядный аналогово-цифровой преобразователь.

Температура горения галоидуглеводородов метанового ряда в хлоре невысока (650–1500 К) вследствие существенных теплопотерь излучением, которые в зависимости от содержания горючего колеблются от 42 до 63 % теплового эффекта реакции [3]. При максимальной интенсивности УФ-излучения практически для любого содержания CCl_3 наблюдается быстропротекающий неизотермический процесс. При приближении к нижнему концентрационному пределу фотовоспламенения вид зависи-

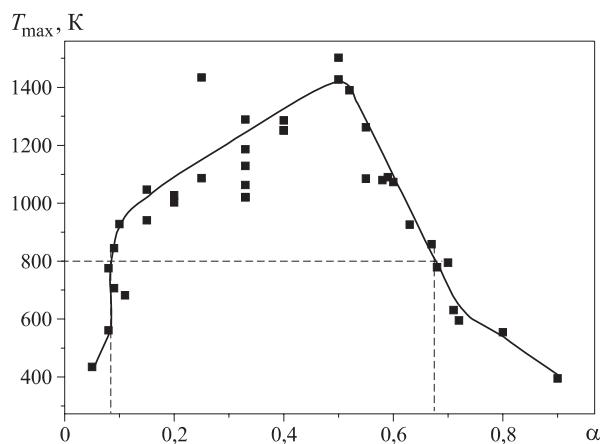


Рис. 3. Зависимость максимальной температуры разогрева реакционной смеси от содержания CCl_3 ($T_0 = 293 \text{ К}$; $p_0 = 98 \text{ кПа}$; $I = I_0$)

мостей $T = f(\tau)$ (где T — температура, К; τ — время, с) приобретает взрывной характер: период индукции сокращается, максимальная температура разогрева смеси T_{\max} и скорость нарастания температуры значительно возрастают (рис. 1).

Для богатых горючими смесей $\text{CCl}_3 + \text{Cl}_2$ характер зависимостей $T = f(\tau)$ (рис. 2) при приближении со стороны более богатых смесей к верхнему концентрационному пределу фотовоспламенения, как и для нижнего предела, становится все более взрывным: сокращается период индукции, увеличивается скорость нарастания температуры, максимальная температура разогрева смеси возрастает.

По зависимости $T_{\max} = f(\alpha)$ (где α — мольная доля хлорметана) (рис. 3), используя в качестве основных критериев экстремум $dT_{\max}/d\alpha$ и предельную температуру горения смесей хлорметана с хлором, определили концентрационную область фототеплового воспламенения — 9–68 % об. Из зависимости $T_{\max} = f(\alpha)$ видно, что максимум $dT_{\max}/d\alpha$ на нижнем концентрационном пределе фиксируется достаточно четко в отличие от верхнего. Более резкий рост максимальной температуры с увеличением мольной доли хлорметана вблизи нижнего предела обусловлен стадийностью процесса, который в большей степени проявляется в смесях с избытком хлора. Каждое последующее замещение атома водорода на хлор в молекуле метана происходит с меньшей скоростью, причем для каждой последующей стадии, как правило, предэкспоненциальный множитель константы скорости химической реакции уменьшается, а энергия активации увеличивается. С ростом температуры стадии замещения второго и третьего атомов водорода на хлор вносят еще более существенный вклад в энергетику процесса. Слабая критичность на пределах воспламенения обусловлена механизмом реакции хлорирования, цепи которой не разветвлены, и происходящее вос-

пламенение в системе $\text{CClH}_3 + \text{Cl}_2$ является, по сути, чисто тепловым. В сравнении с приведенными выше значениями концентрационных пределов при зажигании исследуемых смесей электрическим искровым разрядом концентрационная область фототеплового воспламенения шире, особенно со стороны верхнего предела. При действии постоянного УФ-излучения во всем объеме смеси генерируются активные частицы, поэтому воспламенение смеси облегчается. Причем в богатых хлорметаном смесях, т. е. при малых концентрациях хлора, в соответствии с (1) поглощение излучения в направлении светового потока происходит более равномерно. Поэтому протяженность зоны, в которой концентрация начальных центров реакции превышает критическую, существенно больше.

Известно, что с уменьшением мощности источника зажигания концентрационная область воспламенения сужается. При использовании в качестве источника зажигания УФ-излучения его мощность определяется интенсивностью излучения. При большой интенсивности света создается высокая концентрация начальных центров реакции, поэтому фотохлорирование протекает с большой скоростью и интенсивным тепловыделением. Это приводит к резкому росту температуры и при определенных соотношениях реагентов к воспламенению смеси.

При экспериментальных исследованиях изменение интенсивности УФ-излучения производили с помощью металлических сеток. Экспериментально измеренные коэффициенты ослабления сеток во всем спектральном диапазоне излучения ртутно-кварцевой лампы практически постоянны.

На рис. 4 и 5 приведены температурные зависимости протекания реакции фотохлорирования смесей с различным содержанием хлорметана под действием УФ-излучения различной интенсивности. При облучении реакционных смесей, способных к фототепловому воспламенению ($0,09 \leq \alpha \leq 0,68$) (см. рис. 4), снижение интенсивности УФ-излучения приводит к существенному увеличению периода индукции — до 50 раз. Максимальная температура разогрева смеси практически не изменяется.

При существенном снижении интенсивности УФ-излучения концентрация начальных центров уменьшается настолько, что реакция фотохлорирования протекает с небольшой скоростью и, как следствие, незначительным разогревом, без воспламенения смеси. Причем граница прекращения воспламенения очень критична по отношению к интенсивности излучения. Значение интенсивности УФ-излучения, при котором прекращается воспламенение, зависит от состава реакционной смеси.

Для реакционных смесей, неспособных к воспламенению ($\alpha < 0,09$ и $\alpha > 0,68$) (рис. 5), при сни-

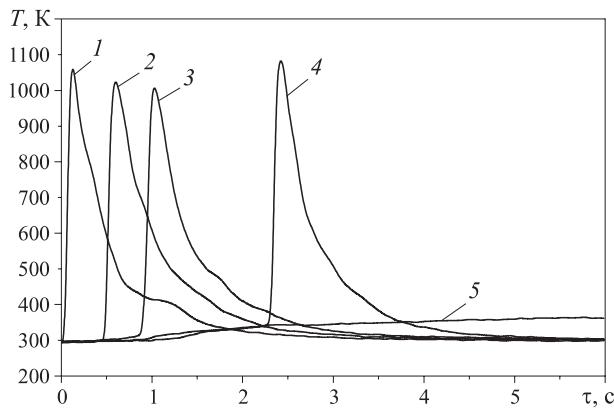


Рис. 4. Зависимость температуры в центре реакционного сосуда от времени для смеси $0,25\text{CClH}_3 + 0,75\text{Cl}_2$ при действии УФ-излучения различной интенсивности: 1 — $I = I_0$; 2 — $I = 0,51I_0$; 3 — $I = 0,131I_0$; 4 — $I = 0,054I_0$; 5 — $I = 0,047I_0$ ($T_0 = 293$ К; $p_0 = 98$ кПа)

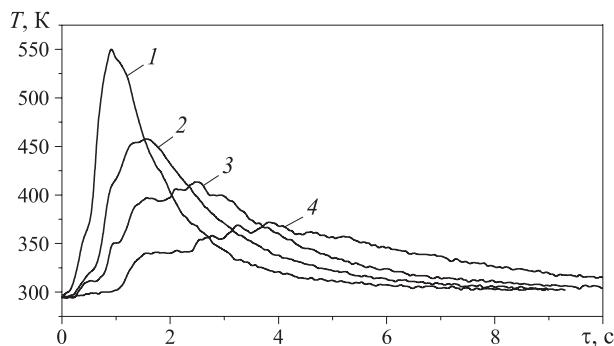


Рис. 5. Зависимость температуры в центре реакционного сосуда от времени для смеси $0,80\text{CClH}_3 + 0,20\text{Cl}_2$ при действии УФ-излучения различной интенсивности: 1 — $I = I_0$; 2 — $I = 0,51I_0$; 3 — $I = 0,131I_0$; 4 — $I = 0,054I_0$ ($T_0 = 293$ К; $p_0 = 98$ кПа)

жении интенсивности излучения наблюдается плавное уменьшение скорости нарастания температуры и ее максимального значения. Режим протекания реакции из взрывного постепенно переходит в стационарный. Это вызвано уменьшением концентрации начальных активных центров реакции $[\text{Cl}]$, что приводит к снижению скорости реакции и интенсивности тепловыделения.

На рис. 6 приведены зависимости максимальной температуры разогрева реакционной смеси T_{\max} от мольной доли хлорметана α при воздействии УФ-излучения различной интенсивности. Из зависимостей видно, что с уменьшением интенсивности света от максимальной $I = I_0$ до $I = 0,054I_0$ (кривые 1-4) высокотемпературная область, соответствующая концентрационной области фотовоспламенения реакционной смеси, сужается как со стороны бедных, так и со стороны богатых горючим смесей.

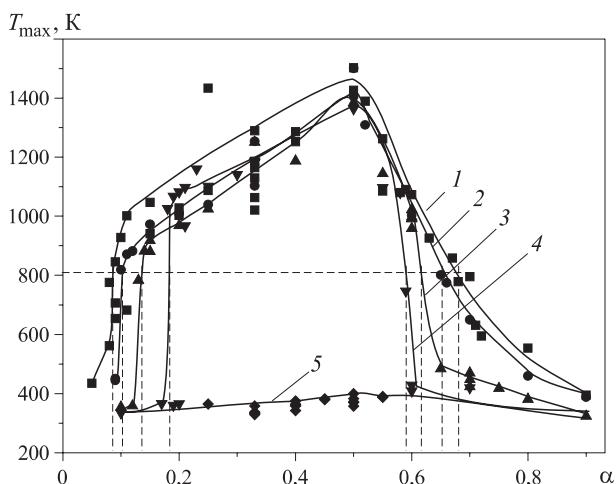


Рис. 6. Зависимость максимальной температуры разогрева реакционной смеси от мольной доли хлорметана при различных интенсивностях излучения: 1 — $I = I_0$; 2 — $I = 0,51I_0$; 3 — $I = 0,131I_0$; 4 — $I = 0,054I_0$; 5 — $I = 0,047I_0$ ($T_0 = 293$ К; $p_0 = 98$ кПа)

По характеру зависимостей $T_{\max} = f(\alpha)$ видно, что при снижении интенсивности УФ-излучения верхний концентрационный предел фотовоспламенения все более четко фиксируется. При интенсивности излучения $I = 0,047I_0$ (кривая 5) высокотемпературная область отсутствует, максимальная температура не превышает 400 К, воспламенения реакционной смеси не происходит ни при каких соотношениях реагентов.

По зависимостям $T_{\max} = f(\alpha, I)$ (см. рис. 6) определены концентрационные пределы фототеплового воспламенения смесей хлорметана с хлором для различных значений интенсивности УФ-излучения. Зависимость концентрационных пределов фотовоспламенения смесей $\text{CClH}_3 + \text{Cl}_2$ от интенсивности УФ-излучения приведена на рис. 7.

С уменьшением интенсивности излучения от максимального значения $I_0 = 2 \cdot 10^{21}$ квант/(с·м²) до $I = 0,131I_0$ концентрационные пределы фототеплового воспламенения изменяются практически линейно как со стороны верхнего, так и со стороны нижнего пределов. Дальнейшее снижение интенсивно-

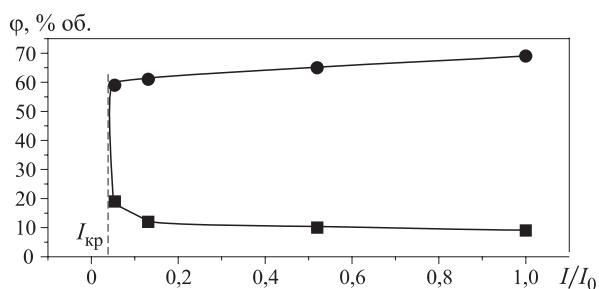


Рис. 7. Зависимость концентрационных пределов фототеплового воспламенения смесей $\text{CClH}_3 + \text{Cl}_2$ от интенсивности излучения ($T_0 = 293$ К; $p_0 = 98$ кПа)

сти излучения ($I < 0,131I_0$) приводит к более резкому сужению концентрационной области фототеплового воспламенения, и в большей степени со стороны нижнего концентрационного предела. При $I = 0,054I_0$ концентрационная область фотовоспламенения еще довольно широка: нижний и верхний пределы соответственно равны 19 и 59 % об. Дальнейшее незначительное уменьшение интенсивности излучения до $I = 0,047I_0$ (на 0,7 % от I_0) приводит к тому, что фотовоспламенение становится невозможным ни при каких соотношениях реагентов.

Таким образом, экспериментально установлена возможность воспламенения смесей хлорметана с хлором под действием непрерывного излучения ртутной лампы ДРТ-1000 мощностью 1000 Вт. При максимальной интенсивности излучения нижний и верхний концентрационные пределы фотовоспламенения соответственно равны 9 и 68 % об. Уменьшение интенсивности УФ-излучения приводит к сужению концентрационной области фотовоспламенения, особенно резко в интервале от $I = 0,131I_0$ до $I = 0,047I_0$, и в основном со стороны нижнего концентрационного предела фототеплового воспламенения. Определено значение критической интенсивности УФ-излучения — $I_{\text{kp}} = 0,94 \cdot 10^{20}$ квант/(с·м²). При проведении фотохлорирования хлорметана необходимо принимать во внимание возможность фотовоспламенения реакционных смесей при воздействии на них УФ-излучения с интенсивностью выше критической.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розловский А. И. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. — М. : Химия, 1980. — 376 с.
2. Бегишев И. Р., Полуэктов В. А., Беликов А. К., Поляков Ю. А. Воспламенение газовых смесей 1,1-дифторэтана с хлором под действием непрерывного источника света // Химическая физика процессов горения и взрыва : материалы IX Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву. 19–24 ноября 1989 г. — Черноголовка, 1989. — С. 12–15.
3. Розловский А. И. Горение систем, в которых окислителем служит хлор // Физика горения и взрыва. — 1982. — Т. 18, № 1. — С. 8

Материал поступил в редакцию 25 июня 2010 г.
Электронный адрес авторов: kpg@academygps.ru.



С. Ю. Вагин
аспирант ИСПМ
им. Н. С. Ениколопова РАН,
г. Москва, Россия



В. П. Васин
канд. техн. наук, старший научный
сотрудник ИСПМ им. Н. С. Ениколопова РАН, г. Москва, Россия



Г. А. Здорикова
канд. техн. наук, ведущий тех-
нолог ЦНИЛ СРП ГК "Стандарт-
пласт", г. Иваново, Россия



Т. А. Рудакова
канд. хим. наук, научный сотруд-
ник ИСПМ им. Н. С. Ениколопова
РАН, г. Москва, Россия

УДК 536.46:614.81

ТРУДНОГОРЮЧИЙ ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ

Представлены результаты работы по созданию трудногорючего вибродемпфирующего материала на основе невысыхающего герметика со свойствами, соответствующими требованиям, характерным для пассажирского вагоностроения по акустическим свойствам, адгезии к окрашенному металлу, морозостойкости, токсичности продуктов горения, дымообразующей способности. Это достигается использованием в составе герметика хлорбутилкаучука и нетоксичных антиприренов (гидроксидов алюминия и магния). Показана перспективность практического применения материала.

Ключевые слова: вибродемпфирование; термогравиметрия; горючесть; пожарная опасность; антиприены; гидроксиды.

Современная тенденция роста требований по созданию комфорта при перевозке пассажиров в железнодорожных подвижных пассажирских составах требует применения полимерных материалов для внутренней отделки вагонов, что приводит к повышению риска их возгорания и гибели пассажиров.

Вагон пассажирского поезда может сгореть за считанные минуты. В процессе натурных испытаний установлен температурный режим пожара в различных зонах пассажирского вагона, преимущественно в верхней зоне. Вертикальное расположение конструкций (стен, перегородок) способствуют их интенсивному горению. Наибольшая температура в зоне потолка может достигать 1100 °С. Безопасное время эвакуации из вагона составляет 5–6 мин с момента возгорания. Для обеспечения требуемого уровня пожаробезопасности пассажирского вагона весьма актуальным является создание и применение трудногорючих материалов с приемлемыми показателями по дымообразующей способности и токсичности [1, 2]. Это в полной мере относится к вибродемпфирующему материалам, изготавливаемым на основе каучуков и предназначенным для повышения акустического комфорта в пассажирских вагонах.

К применяемым материалам предъявляются требования по показателям их пожарной опасности, заданные ОАО “Тверской вагоностроительный завод” (методики по ГОСТ 12.1.044–89):

- группа горючести — горючие трудновоспламеняемые;
- коэффициент дымообразования — не более 500 м²/кг;
- класс токсичности продуктов горения — умеренноопасные.

Данная статья посвящена вопросам создания трудногорючего вибродемпфирующего материала, обладающего всеми требуемыми эксплуатационными свойствами.

Вибродемпфирующие материалы данного класса являются многослойными: они состоят из полимерного слоя на основе каучуков и лицевого слоя из алюминиевой фольги. Один из материалов данного класса — Вибропласт, производимый компанией “Стандартпласт”, используется для снятия вибрационных нагрузок в районах колесных блоков вагонов [3]. В то же время при отделке стен и потолочных панелей его применение невозможно из-за относительно высокой пожароопасности материала. Испытания показали, что достичь требуемых показателей пожарной опасности путем модернизации рецептуры Вибропласта нереально.

Разработка новой полимерной композиции основывалась на использовании невысыхающего герметика и нетоксичных антиприренов. Полимерные составляющие невысыхающих герметиков, которые

© Вагин С. Ю., Васин В. П., Здорикова Г. А., Рудакова Т. А., 2010

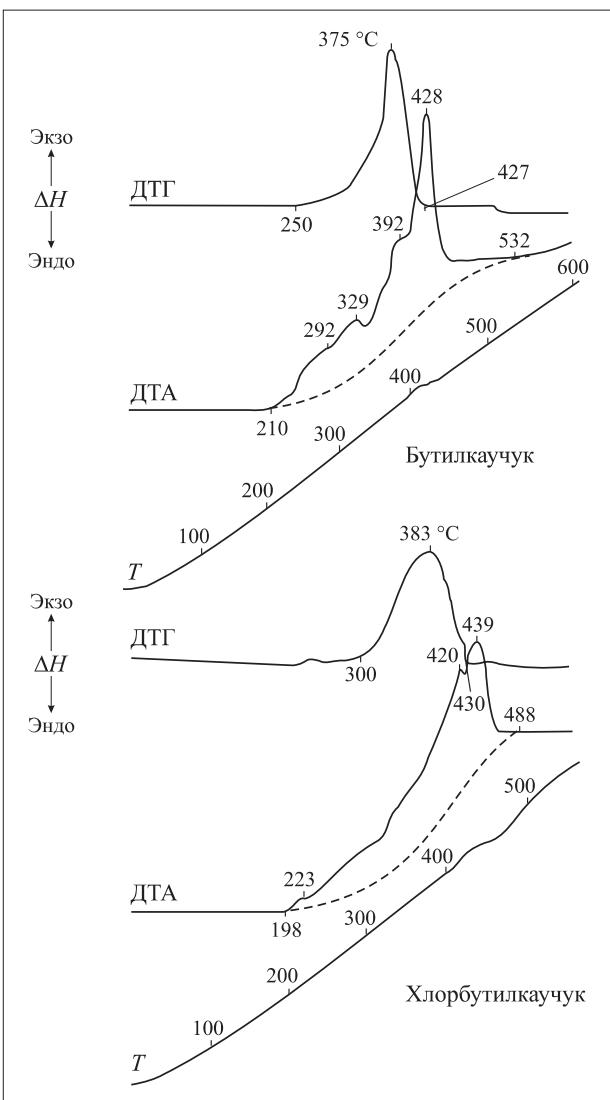


Рис. 1. Кривые ДТГ и ДТА бутилкаучука и хлорбутилкаучука ($V_h = 5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$)

являются основным объектом исследования, — это бутилкаучук, полиэтилен и полиизобутилен, имеющие углеводородную природу и представляющие собой горючие вещества. Были проведены термогравиметрические испытания компонентов полимерной композиции.

Для получения более термостойкого герметика была произведена замена бутилкаучука на хлорбутилкаучук. Из термогравиметрического (ТГ) и дифференциального-термического (ДТА) анализов бутилкаучука и хлорбутилкаучука (рис. 1) виден эффект, который дает замена основного эластомера бутилкаучука на хлорбутилкаучук, обладающий более низким тепловыделением.

Из антиприренов подбирались такие, которые активно работают в области температур разложения. Из анализа мирового рынка потребления антиприренов с целью снижения пожароопасности полимеров видна отчетливая тенденция роста применения

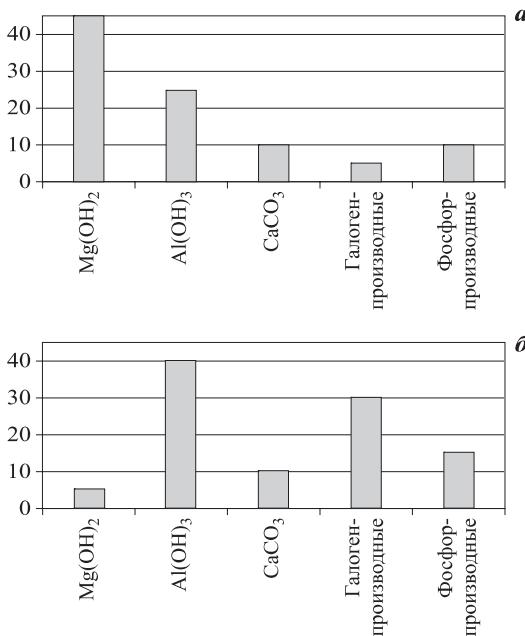


Рис. 2. Сравнение европейского (а) и российского (б) рынков антиприренов

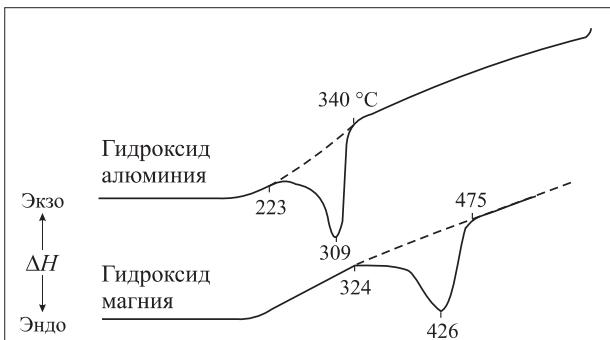
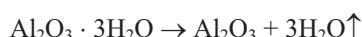


Рис. 3. Кривые ДТА гидроксидов алюминия и магния

гидроксидов алюминия и магния благодаря их нетоксичности при одновременном снижении применения галогенпроизводных и фосфорпроизводных соединений (рис. 2) [4].

Гидроксид алюминия — это антиприрен с температурой разложения примерно 223°C (рис. 3). При повышенных температурах происходит разрушение его кристаллической структуры с отщеплением воды. Этот процесс требует затраты значительного количества энергии, что и приводит к снижению температуры в зоне горения. Кроме того, пары воды затрудняют поступление в эту зону кислорода воздуха, что препятствует горению полимерных материалов. При нагревании выше 200°C тригидрат оксида алюминия эндотермически разлагается:



По окончании выделения воды Al_2O_3 ведет себя как обычный оксид [5, 6].

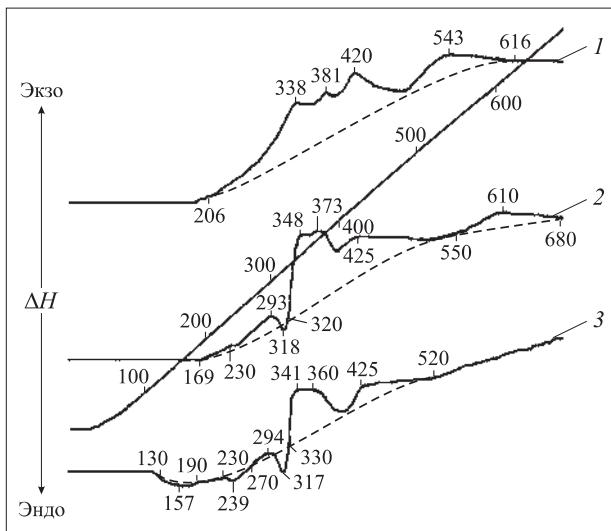
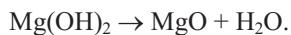


Рис. 4. Кривые ДТА композиций с различным содержанием гидроксидов алюминия и магния: 1 — 0 %; 2 — 39 %; 3 — 71 %

Как видно из рис. 3, гидроксид магния имеет более высокую термостойкость по сравнению с гидроксидом алюминия (324 °C). При разложении гидроксида магния протекает следующая реакция [7, 8]:



Анализируя полученные данные (см. рис. 2 и 3), можно сделать заключение, что гидроксиды алюминия и магния, дополнняя друг друга, расширяют эндотермический температурный интервал и перекрывают интервал разложения хлорбутилкаучука.

Кроме того, необходимость введения гидроксида магния продиктована в первую очередь поглощением хлороводорода, выделяющегося в процессе терморазложения хлорбутилкаучука (дегидрохлорирование), а образующийся хлорид магния действует как смещающий катализатор в фазе конденсации дегидрохлорированного каучука с последующим образованием циклических структур и кокса [8]. Таким образом, замена бутилкаучука на хлорбутилкаучук в совокупности с использованием гидроксида магния обеспечивает коксообразование, которое, как известно, снижает пожарную опасность полимерных материалов [5].

Для определения количества гидроксидов, необходимого для придания материалу требуемых свойств огнезащиты, использовались дифференциальный термический анализ (рис. 4) и метод определения группы горючести (на приборе ОТМ) в соответствии с методикой ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.3). На рис. 5 представлены кривые тепловыделений при различном количестве антиприпера в композиции, фиксируемых при испытаниях на приборе ОТМ.

Из рис. 4 и 5 видно существенное уменьшение тепловыделения композиции (т. е. уменьшение экзотермического эффекта горения) с содержанием анти-

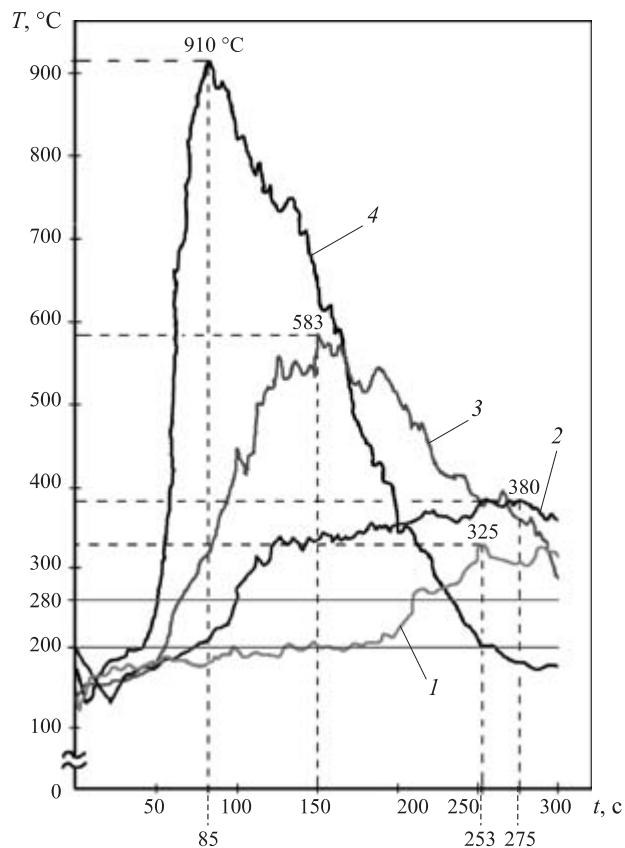


Рис. 5. Влияние количества антиприпера ($\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\text{Mg}(\text{OH})_2$) на тепловыделение композиции при испытании по методу ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.3): 1 — 71 %; 2 — 52,0 %; 3 — 39,0 %; 4 — 0 %

типрипера от 0 до 71 % по массе при соотношении гидроксидов алюминия и магния 3:1.

Необходимость высокого наполнения композиции гидроксидами алюминия и магния вызывает ряд технологических затруднений при изготовлении композиции. Поскольку частицы гидроксидов имеют высокую поверхностную энергию, получается нетехнологичная (непластичная) смесь, трудно перерабатываемая, с существенной потерей акустических и адгезионных свойств. Данная проблема была решена за счет обработки поверхности гидроксидов алюминия и магния. Для снижения поверхностной энергии гидроксидов были выбраны аминосиланы (АГМ-9) и стеариновая кислота. Отработка технологических режимов обработки поверхности гидроксидов и последующий их выпуск были осуществлены производственным предприятием ЗАО “Геоком” (г. Калуга).

Проведены испытания материала на акустические свойства. Определен коэффициент механических потерь (КМП) на стальной пластине толщиной 1,0 мм при температуре 20 °C и частоте 200 Гц (ISO 6721-3 (DIN EN ISO 6721-3), способ А). Испытания показали, что обработка поверхности анти-

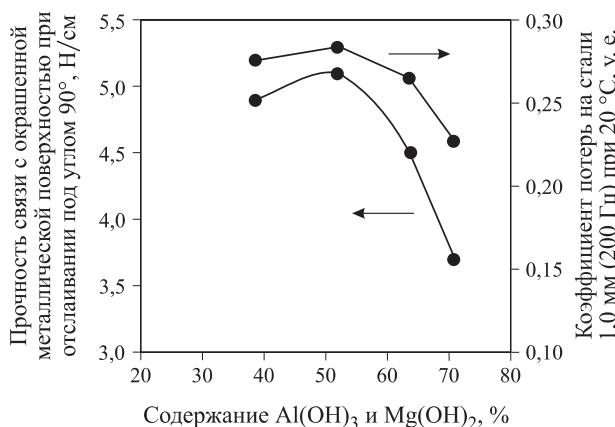


Рис. 6. Влияние наполнения полимерной матрицы каучука на физико-механические показатели герметика

пиренов дала улучшение технологических свойств, а также физико-механических и акустических показателей композиции.

На рис. 6 показано влияние наполнения композиции модифицированными наполнителями на характеристики герметика. На рис. 7 отражено влияние модификации поверхности антипиренов на акустические свойства материала в сравнении с прототипом. При аппретировании аминосиланами КМП образца составляет 0,08, что свидетельствует о существенном падении акустических свойств по сравнению с прототипом материала, в который не вводились антипирены (Вибропласт М-1 с КМП = 0,28). В свою очередь, испытания материала, полученного при введении гидроксидов алюминия и магния, обработанных стеариновой кислотой (СЖК), показали высокий КМП — 0,20 при требуемом уровне не менее 0,12.

Как видно из рис. 6, при повышении содержания гидроксидов алюминия и магния адгезия материала к металлической поверхности падает. Обработка поверхности антипиренов СЖК, наоборот, способствует повышению адгезии материала (рис. 8). На данной диаграмме отражена адгезия к металлической поверхности трех опытных образцов материала при одинаковом наполнении двух из них гидроксидами алюминия и магния.

Проведена оценка влияния наполнения полимерной матрицы антипиреном на величину кислородного индекса. Из анализа рис. 9 видно, что повышение содержания антипиrena в композиции до 70 % приводит к росту кислородного индекса до 51,7 % и снижению в полтора раза потери массы.

Результаты испытаний разработанного вибропоглощающего материала на приборе ОТМ по методике ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.3) показали, что он относится к трудногорючим материалам. По соответствующим методикам проведено определение других показателей пожарной опасности, а также

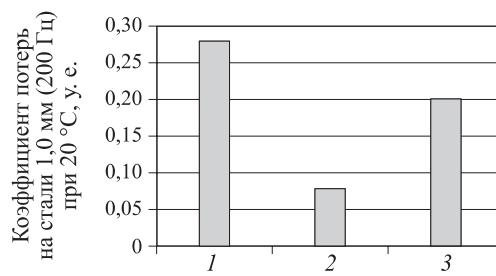


Рис. 7. Влияние немодифицированных (2) и модифицированных (3) наполнителей Al(OH)_3 и Mg(OH)_2 на акустические свойства материала в сравнении с материалом без наполнителя (1)

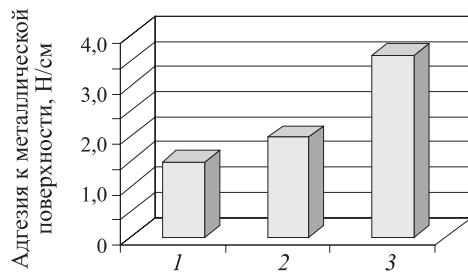


Рис. 8. Влияние обработки поверхности гидроксидов алюминия и магния силанами (2) и СЖК (3) на адгезионные свойства материала в сравнении с материалом без обработки (1)

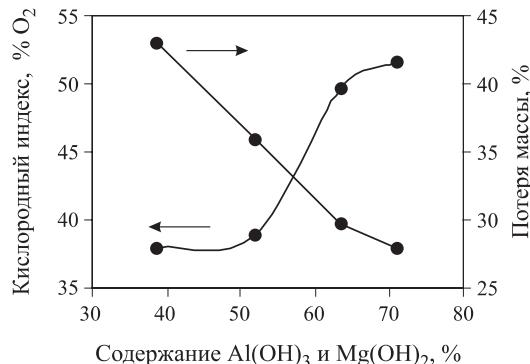


Рис. 9. Влияние содержания антипиrena на величину кислородного индекса композиции и потери массы

других свойств материала, подлежащих определению. Свойства разработанного материала, методики проведения испытаний, а также заданные требования представлены в таблице.

Испытания проводились в лаборатории структуры полимеров ИСПМ РАН (г. Москва), испытательном центре Тверского института вагоностроения (г. Тверь), лаборатории ОАО “Стандартпласт” (г. Иваново).

Из анализа данных таблицы можно заключить, что разработанный вибропоглощающий материал соответствует заданным требованиям по всем харак-

Основные свойства вибропоглощающего материала

Показатель	Значение показателя		Метод испытания
	требуемое	фактическое	
КМП на стальной пластине толщиной 1,0 мм при температуре, °С, не менее:			
20	0,12	0,20	По ISO 6721-3 (DIN EN ISO 6721-3), способ А, по п. 5.5
40	0,09	0,13	
Прочность связи материала с окрашенной металлической поверхностью при отслаивании, Н/см, не менее	3,0	3,5	По ТУ 5772-058-48214265-2007, п. 5.6
Морозостойкость (устойчивость материала к воздействию температуры минус 60 °С)	Не допускается отслаивание материала от окрашенной металлической пластины	Соответствует требованию	По 5.8 ТУ 5772-058-48214265-2007
Группа горючести	Горючий трудновоспламеняющийся	Трудногорючий	ГОСТ 12.1.044-89, п. 4.3
Класс токсичности продуктов горения	Умеренноопасные	Умеренноопасные	ГОСТ 12.1.044-89, п. 4.20
Коэффициент дымообразования, м ² /кг, не более:			
режим тления	500	184,2	ГОСТ 12.1.044-89, п. 4.18
режим горения	500	251,4	

теристикам, а по группе горючести является более пожаробезопасным (трудногорючим вместо трудновоспламеняющегося). На материал получен сертификат пожарной безопасности и санитарно-эпидемиологическое заключение. Имеется экспертное заключение ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора и одобрение ОАО “РЖД” на его применение. Начато

использование материала на ОАО “Тверской вагоностроительный завод”.

Достигнутый уровень характеристик разработанного вибропоглощающего материала, наличие соответствующей документации и имеющийся опыт внедрения свидетельствуют о перспективности дальнейшего использования его в вагоностроении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Махан В. В., Зенкевич-Галай Б., Вельц И., Овчинникова Е. В., Лавров А. П. Пожаробезопасность пассажирских вагонов // Вестник ВНИИЖТ. — 2005. — № 6. <http://www.css-rzd.ru>.
2. Пинчук Л. С., Неверов А. С. Герметизирующие полимерные материалы. — М. : Машиностроение, 1995. — 153 с.
3. Здорикова Г. А. Вибропоглощающие материалы на основе невысыхающих герметиков // Автостандарт. — 2005. — № 1. — С. 67–69.
4. Виноградов В. А. Обзор рынка огнезащитных материалов // Маркетинг в России и за рубежом. — 2002. — № 6. <http://www.cfin.ru>.
5. Антонов А. В., Решетников И. С., Халтуринский Н. А. Горение коксообразующих полимерных систем // Успехи химии. — 1999. — № 68 (7). — С. 663–673.
6. Филатов Н. И., Музыка А. А., Агафонова А. И., Днепровский С. Н. Композиции полипропилены на пониженной горючести с неорганическими антиприренами. <http://www.xxt2006.chtd.tpu.ru>.
7. Гликштерн М. В. Антиприены // Полимерные материалы. — 2003. — № 5 (48). — С. 15–18.
8. Экопирен — пламегасящая добавка. <http://www/ecopiren.ru>.

Материал поступил в редакцию 21 июля 2010 г.
Электронный адрес авторов: Tatrudakova@yandex.ru.

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

Рекламодателям:
тел.: (495) 445-42-29
Координатор отдела рекламы
Майорова Екатерина Валерьевна

**Е. А. Рыбка**

адъюнкт Национального университета
гражданской защиты Украины,
г. Харьков, Украина

**В. А. Андронов**

д-р техн. наук, проректор по науке,
профессор Национального университета
гражданской защиты Украины,
г. Харьков, Украина

УДК 699.61

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ РЕАЛЬНОГО ПОЖАРА

Представлена усовершенствованная лабораторная установка для оценки огнезащитной эффективности и теплофизических характеристик вспучивающихся огнезащитных покрытий для металлических конструкций, позволяющая задавать разнообразные температурные режимы пожара. Обосновано применение уменьшенного экспериментального образца для проведения исследований по оценке огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий для металлических конструкций.

Ключевые слова: вспучивающееся покрытие; лабораторная установка; огнезащитная эффективность; температурный режим пожара; карбидокремниевые электронагреватели; камерная печь; подобие; приведенная толщина на металла; экспериментальный образец; измерительный блок.

Введение

Пожары являются одной из самых разрушительных катастроф, которые преследуют человечество на всех этапах его развития. При строительстве сооружений промышленного, общественного и жилого назначения с использованием металлических конструкций в проекте всегда оговаривается степень огнестойкости объекта, для обеспечения которой предусматривается проведение целого комплекса противопожарных (огнезащитных) мероприятий. Однако практика показывает, что, несмотря на заложенные в проекты технические решения и проведенные огнезащитные работы, конструкции не всегда выдерживают испытания, на которых они были рассчитаны [1].

Одной из главной причин этого является использование при проектировании стандартного температурного режима, который в большинстве случаев не соответствует реальной температурной кривой при пожаре [2, 3], а применяется для воспроизводимости стандартных экспериментальных исследований строительных конструкций на огнестойкость.

Одним из наиболее перспективных средств огнезащиты металлических строительных конструкций являются вспучивающиеся покрытия [4]. Предва-

рительные экспериментальные исследования по определению огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий для металлоконструкций показали, что данные покрытия являются чувствительными к режиму нагрева, т. е. к скорости набора температуры. При постепенном нарастании температуры эффекта многократного увеличения в объеме и образования коксового остатка не наблюдается, происходит оплавление или сгорание покрытия при относительно низких температурах. При дальнейшем нагреве конструкция остается практически незащищенной, происходит ее перегрев, деформация и обрушение.

Этот эффект наблюдался при пожарах на заводе макаронных изделий “Мивина” (г. Харьков, 2006 г.), в аквапарке “Джунгли” (г. Харьков, 2008 г.), торговом центре FM (г. Симферополь, 2009 г.) и на гофротарном комбинате (г. Луганск, 2010 г.). От чрезмерного нагрева металлические конструкции, защищенные сертифицированными покрытиями, деформировались и обвалились, при этом огнезащита не была обеспечена на всем протяжении проектного времени. Приведенные примеры пожаров демонстрируют неэффективность стандартизованных испытаний и методик выбора вида и толщины огнезащитного покрытия.

Явление отсутствия огнезащитного эффекта объясняется сложностью взаимосвязанных физико-химических превращений, которые происходят во вспучивающихся покрытиях при нагреве. Разработчики подбирают компоненты состава таким образом, чтобы при стандартных огневых испытаниях покрытие “вовремя сработало” и показало высокую огнезащитную эффективность [4]. Однако при реальном развитии пожара и отклонении от стандартной кривой температура – время происходит “сбой” в цепочке химических превращений, и в результате покрытие перестает выполнять свою функцию.

В связи с вышесказанным возникает необходимость в усовершенствовании существующих методов определения огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий для металлоконструкций с учетом термодинамики реального пожара.

Состояние вопроса

Для определения огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных покрытий для металлоконструкций проводятся огневые (натурные) испытания конструкций на огнестойкость [5]. Эти испытания требуют изготовления фрагментов реальных конструкций, значительных материально- и энергозатрат, а также трудозатрат на их подготовку и проведение.

Для оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных покрытий для металлоконструкций, прогнозирования границы огнестойкости реальных конструкций, сравнительной оценки огнезащитной эффективности и контроля качества выпускаемых покрытий используются лабораторные методы, основанные на прогреве уменьшенных образцов (металлических пластин, защищенных покрытием) в условиях стандартного температурного режима пожара [6].

В существующих лабораторных установках [7–10] тепловое воздействие на образцы обеспечивается за счет теплового излучения от муфельной печи, нагретой до температуры 1100 °C, электрической печи Т-образной формы или газовой печи. Данные способы теплового воздействия не обеспечивают равномерного теплового потока на поверхность образца, поскольку исследуемый образец находится на разном расстоянии от нагревательных элементов. Ни один из существующих методов не предусматривает варьирования температурными режимами нагрева образцов и задания режима реального (расчетного) пожара для конкретного строения или сооружения.

Постановка задачи и ее решение

Таким образом, возникает необходимость в создании лабораторной установки, которая не будет

иметь указанных недостатков, даст возможность максимально автоматизировать испытания и при этом повысить их достоверность.

Функциональная схема такой лабораторной установки для оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных покрытий для металлических конструкций представлена на рис. 1.

За основу при создании лабораторной установки выбрана цилиндрическая камерная печь шахтного типа с диаметром внутреннего пространства 200 мм и высотой 300 мм, которая способна выполнять заданные режимы нагрева [11, 12] (рис. 2).

Для обеспечения необходимых режимов нагрева применяются неметаллические нагревательные

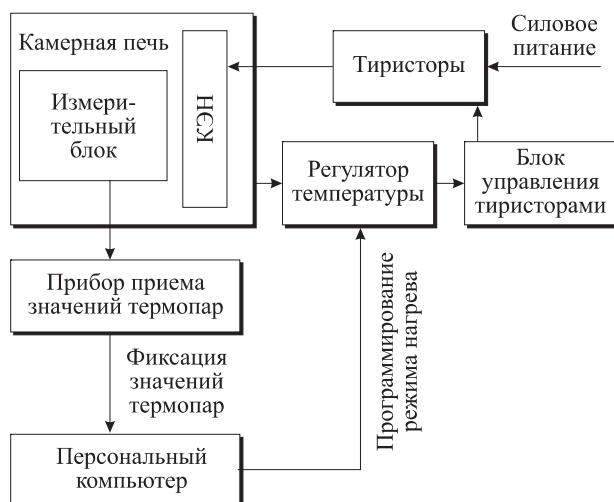


Рис. 1. Функциональная схема лабораторной установки для оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных покрытий для металлических конструкций: КЭН — карбидокремниевый электрический нагреватель

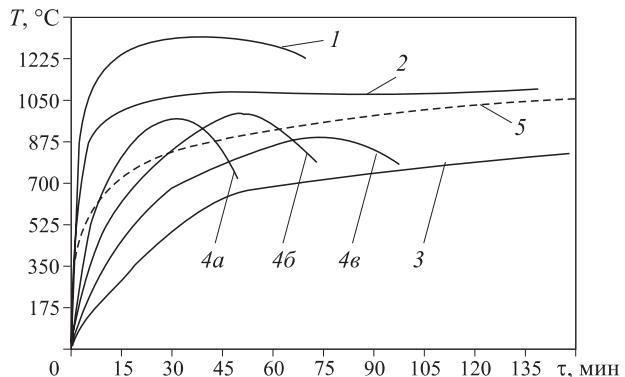


Рис. 2. Температурные режимы пожара в помещениях зданий и сооружений разного назначения: 1 — в тоннелях; 2 — в сооружениях нефтеперерабатывающей и химической промышленности; 3 — в подвалах; 4 — в жилых помещениях с разными площадями прорезов (от “а” до “в” площадь прорезов уменьшается от 2 до 1 м²); 5 — стандартная температурная кривая пожара

элементы — карбидокремниевые электрические нагреватели (КЭН) [13]. У этих элементов есть свои специфические характеристики (табл. 1), такие как низкий температурный коэффициент линейного расширения, стабильный химический состав, продолжительный срок службы, малая деформация, легкость в монтаже и обслуживании. КЭНы используются для печей с температурой до 1600 °C и могут устанавливаться непосредственно в воздушной атмосфере без защитной оболочки.

Для лабораторной установки выбраны гантеле-видные (трубчатые с утолщенными концами) нагреватели типа КЭН А 8/300/150: диаметр активной части $D = 8$ мм, длина $L = 300$ мм, длина холодных концов $l_1 = 150$ мм, площадь поверхности излучения активной части $S_b = 75 \text{ см}^2$, номинальное электрическое сопротивление $R_h = 4,7 \text{ Ом}$.

К размещению в печи КЭНов предъявляются следующие требования [10]:

- расстояние между центрами нагревателей — не менее $2D$;
- расстояние от центра нагревателя до футеровки — не менее $1,5D$.

Учитывая требования, предъявляемые к лабораторной установке и нагревательным элементам, рассчитывают количество и размещение КЭНов в печи (рис. 3).

Для выбора оптимальной мощности возможно подключение 12 КЭНов с использованием шести схем коммутации (табл. 2).

Для безаварийной работы нагревателей необходимо выполнение условия непревышения допустимой удельной поверхностной мощности нагревателей. Уравнение для максимальной допустимой мощности печи имеет вид:

$$W_{\max} = QS_b n, \quad (1)$$

где Q — удельная поверхностная мощность, $\text{Вт}/\text{см}^2$;

S_b — площадь поверхности излучения активной части, см^2 ;

n — количество нагревателей.

$$W_{\max} = 15 \cdot 75 \cdot 12 = 13,5 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 13,5 \text{ кВт},$$

что соответствует 4-й схеме коммутации с напряжением питания 220 В.

Для первого слоя футеровки печи (см. рис. 3) используются корундовые пластины, второй слой выполняется из шамота. Пространство между стальным корпусом и футеровкой заполняется минеральным теплоизолятором.

Печь массой 290 кг покоятся на стальной опоре.

Для управления тепловым режимом в печи применен регулятор температуры РТЭ-4.1 М-10, который обеспечивает:

- a) задание управляющего влияния, которое изменяется по ПИД-закону по заданной программе

Таблица 1. Характеристики КЭНов

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Массовая доля Si, %, не менее	97
2	Температура плавления, °C	2820
3	Плотность, кг/м ³	3200
4	Температурный коэффициент линейного расширения 24–2400 °C, 10 ⁻⁶ K ⁻¹	5,88
5	Предел прочности при разрыве, МПа	35–42
6	Предел прочности при сжатии, МПа	576
7	Твердость по Моосу	9,0–9,5
8	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	1,0–2,0
9	Удельная поверхностная мощность, Вт/см ² :	
	1100 °C	≤ 15
	1400 °C	≤ 5
10	Рабочий ресурс при номинальной работе, ч	1000

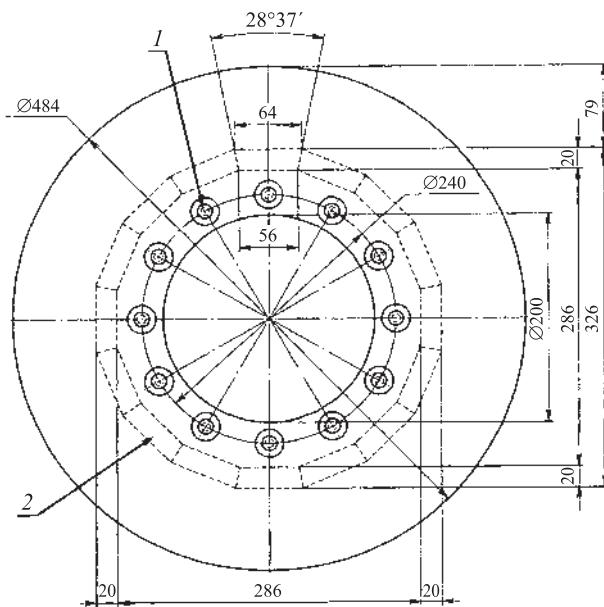


Рис. 3. Размещение КЭНов в печи (вид сверху): 1 — КЭН; 2 — футеровка

с учетом влияния внешнего сигнала коррекции и управления скоростью увеличения (уменьшения) исходной мощности;

- б) цифровую индикацию:

- текущего значения температуры с точностью ± 1 °C;
- значения заданной температуры;
- значения параметров регулирования;
- в) выход на персональный компьютер RS485.

Регулятор температуры подает сигнал управления на блок управления тиристорами (БУТ-3А), который, в свою очередь, с помощью тиристоров регулирует силовое питание нагревателей печи.

Таблица 2. Электрические параметры печи в зависимости от схем коммутации нагревателей и напряжения

Схема коммутиации	Соединение КЭНов по группам		Напряжение U , В	Ток I , А	Мощность W , кВт
	последовательно	параллельно			
1	12	—	220	3,90	0,86
			380	6,73	2,56
2	6	2	220	15,60	3,43
			380	26,95	10,24
3	4	3	220	35,10	7,72
			380	60,60	23,00
4	3	4	220	62,40	13,70
			380	107,80	41,00
5	2	6	Используются только при очень больших значениях электрического сопротивления нагревателей в случае их сильного старения		
6	—	12			

При создании малоразмерного экспериментального образца для определения огнезащитных свойств вспучивающихся покрытий необходимо, чтобы конструкция и размеры образца были подобны натурной металлоконструкции.

Для обоснования конструктивных особенностей, размеров и применяемых материалов необходимо, чтобы выполнялось условие теплового и геометрического подобия образцов и металлоконструкций [14].

Тепловое подобие предусматривает пропорциональность всех величин, которые характеризуют тепловые явления: температур, тепловых потоков, теплоемкостей, коэффициентов теплопроводности:

$$\frac{T'_f}{T''_f} = \frac{\alpha'}{\alpha''} = \frac{\rho'}{\rho''} = \frac{c'}{c''} = \frac{\lambda'}{\lambda''} = c_1, \quad (2)$$

где T_f — температура пожарной среды, °С;
 α — интенсивность теплового потока, Вт/м²;
 ρ — плотность, кг/м³;
 c — теплоемкость, Дж/(кг·°С);
 λ — теплопроводность, Вт/(м·°С);
 c_1 — константа теплового подобия;
одним и двумя штрихами обозначены соответственно первое и второе подобные явления.

В нашем случае тепловое подобие выполняется, так как для изготовления образцов и их огнезащиты используются такие же материалы, как и для реальных конструкций: конструкционная сталь Ст3 и исследуемое вспучивающееся покрытие.

Конструкция экспериментального образца должна обеспечивать равномерность падающего теплового потока за счет отсутствия углов и равноудален-

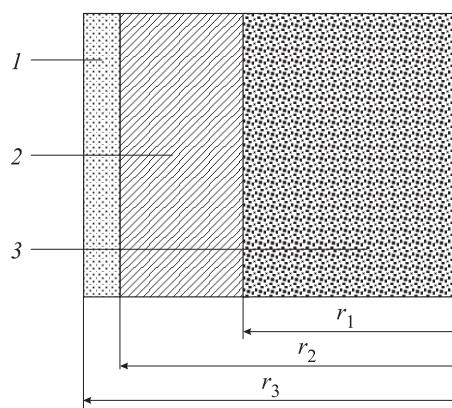


Рис. 4. Схема трехслойной тепловой системы экспериментального образца: 1 — испытуемое вспучивающееся покрытие; 2 — стальной цилиндрический образец; 3 — теплоизоляция; r_1 — внешний радиус теплоизоляции полости образца, м; r_2 — внешний радиус стального цилиндра, м; r_3 — внешний радиус защитного покрытия, принятый равным начальному радиусу защитного покрытия до нагревания, м

ности образца от нагревательных элементов печи. Размеры образца должны быть соразмерными с толщиной вспучивающегося покрытия во вспученном состоянии для обеспечения отсутствия предельных напряжений и растрескивания слоя образовавшегося пенококса, что может исказить результаты эксперимента. Поэтому за основу образца принял стальной цилиндр диаметром 70 мм и высотой 210 мм.

Для обеспечения необходимого значения приведенной толщины металла экспериментальный образец выполнен пустотелым (рис. 4). При увеличении радиуса полости образца соответственно уменьшается площадь поперечного сечения и показатель приведенной толщины металла:

$$\delta = \frac{S_2 - S_1}{P}, \quad (3)$$

где δ — приведенная толщина металла, м;

S_1 — площадь поперечного сечения полости образца, м²;

S_2 — площадь поперечного сечения образца, м²;

P — внешний периметр образца, подвергаемый тепловому влиянию, м.

Радиус полости экспериментального образца определяется по формуле

$$r_1 = \sqrt{r_2(r_2 - 2\delta)}, \quad (4)$$

где r_1 — внешний радиус образца, м;

r_2 — радиус полости образца, м;

δ — приведенная толщина металла, м.

Геометрическое подобие экспериментального образца и реальной конструкции выражается с помощью инварианта подобия, в качестве которого

принимаем показатель приведенной толщины металла:

$$\frac{S'}{P'} = \frac{S''}{P''} = \delta = \text{inv.} \quad (5)$$

Для обеспечения возможности многоразового использования экспериментального образца и максимального снижения трудо- и материалозатрат на проведение испытаний предложена разъемная конструкция измерительного блока (рис. 5). В качестве постоянной части используется стальной цилиндрический вкладыш, теплоизолированный по краям и внутри, на который надевается стальное цилиндрическое кольцо, защищенное вспучивающимся покрытием. На границе контакта внешней поверхности стального цилиндрического вкладыша с внутренней поверхностью стального цилиндрического кольца и в центре теплоизоляции полости стального вкладыша расположены термопары для фиксации температуры.

Термопары от измерительного блока подключаются к прибору приема значений термопар, который в свою очередь подсоединяется через USB-интерфейс к персональному компьютеру. С помощью пакета прикладных программ значения термопар измерительного блока фиксируются в виде таблиц и графиков.

Выводы

Представленная лабораторная установка позволяет проводить полностью автоматизированные испытания по оценке огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных покрытий для металлоконструкций. Обосновано применение уменьшенного экспериментального образца в виде пустотелого стального цилиндра с теплоизолированной полостью сменного радиуса. Размеры и конструкция данной установки позволяют проводить испытание разнообразных образцов на огнестойкость и горючесть и варьировать режимами нагрева.

В дальнейшем планируется более детальное исследование влияния режима нагрева на огнезащит-

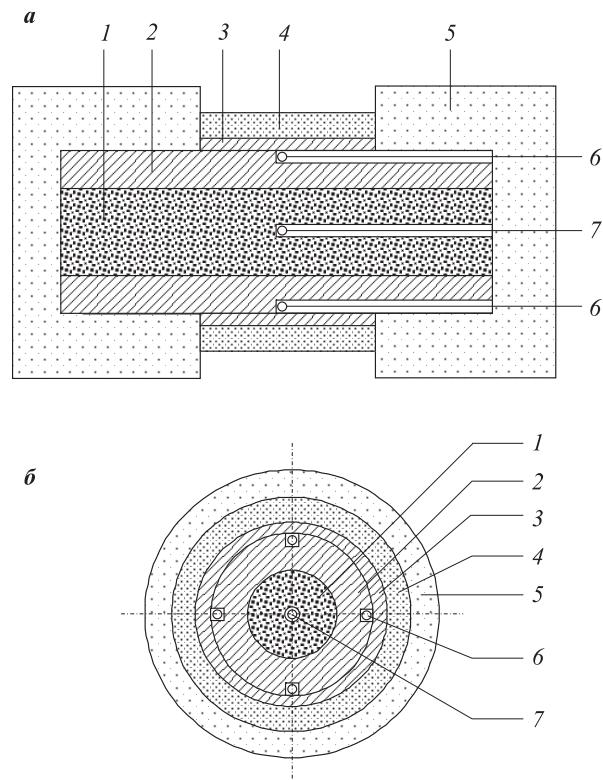


Рис. 5. Измерительный блок лабораторной установки для оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных покрытий для металлических конструкций:
а — продольный разрез; б — поперечный разрез; 1 — теплоизоляция стального вкладыша; 2 — стальной цилиндрический вкладыш; 3 — стальной цилиндрический образец; 4 — испытуемое вспучивающееся покрытие; 5 — изолят охранительной зоны измерительного блока; 6 — термопары для измерения температуры между внешней поверхностью стального цилиндрического вкладыша и внутренней поверхностью стального цилиндрического образца; 7 — термопара для измерения температуры в центре теплоизоляции стального вкладыша

ную эффективность вспучивающихся покрытий для металлоконструкций с помощью предложенной лабораторной установки и выведение закономерностей поведения вспучивающихся покрытий в условиях развития реального пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Страхов В. Л., Гаращенко А. Н. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования // Строительные материалы. — 2002. — № 6. — С. 2–5.
- Моделирование пожаров и взрывов / Под ред. Н. Н. Брушлинского и А. Я. Корольченко. — М. : Пожнаука, 2000. — 492 с.
- ГОСТ Р 12.3.047–98. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 01.01.2000. — М. : Изд-во стандартов, 1998.
- Шналь Т. Н. Свойства и оптимизация составов вспучивающихся покрытий для огнезащиты металлических конструкций : дис. ... канд. техн. наук : 26.05.01. — Львов, 1995. — 250 с.

5. Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (EN 13381-4:2002, NEQ) [Національний стандарт України] : ДСТУ Б В 1.1-17:2007. — [Чинний від 2008-01-01] — К. : УКРАРХБУДІНФОРМ, 2009. — XIV. — 105 с.
6. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги : ДСТУ Б В 1.1-4-98. — К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1998. — 45 с.
7. НПБ 236-97. Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности : утв. ГУГПС МВД РФ 29 апреля 1997 г., МЧС России 18 июня 2003 г. : введ. в действие 1 июня 1997 г. — М. : ВНИИПО МВД России, 1997.
8. Определение теплоизолирующих свойств огнезащитных покрытий по металлу : методика. — М. : ВНИИПО, 1998. — 19 с.
9. Круковский П. Г., Цвиркун С. В. Определение теплофизических характеристик вслучивающегося покрытия по данным испытаний на огнестойкость // Науковий вісник УкрНДІПБ. — 2005. — № 1(11). — С. 5-13.
10. Яковлева Р. А., Фомин С. Л., Сафонов Н. А., Безуглый А. М. Новые огнезащитные покрытия по металлу и идентификация их теплофизических свойств // Науковий вісник будівництва. — 2008. — № 48. — С. 250-268.
11. Демехин В. Н., Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф. и др. Здания и сооружения и их устойчивость при пожаре. — М. : ГПС МЧС России, 2003. — 656 с.
12. Мосалков И. Л., Плюснина Г. Ф., Фролов А. Ю. Огнестойкость строительных конструкций. — М. : ЗАО "Спецтехника", 2001. — 496 с.
13. Большаков Н. В., Борисанова К. С., Бурцев В. И. и др. Материалы для электротермических установок : справочное пособие / Под ред. М. Б. Гутмана. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 296 с.
14. Веников В. А. Теория подобия и моделирования. — М. : Высшая школа, 1976. — 479 с.

Материал поступил в редакцию 16 июня 2010 г.
Электронный адрес авторов: rizheka@yandex.ru.



С. В. Тимофеева
канд. хим. наук, начальник
кафедры Ивановского института
Государственной противопожарной
службы МЧС РФ, г. Иваново, Россия



А. С. Малясова
канд. хим. наук, научный сотрудник
Ивановского государственного
химико-технологического
университета, г. Иваново, Россия



О. Г. Хелевина
д-р хим. наук, профессор
Ивановского государственного
химико-технологического
университета, г. Иваново, Россия

УДК 678.84:614.841.41:66.097

ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОНИЖЕННОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. МОДИФИЦИРОВАНИЕ СИЛОКСАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ СОЕДИНЕНИЯМИ АЛЮМИНИЯ

Изучено модифицирование силоксановых покрытий на основе жидких низкомолекулярных каучуков СКТН соединениями алюминия: бутилатом алюминия, оксидом и гидроксидом алюминия. Показано, что при таком модифицировании образуются кремнийорганические производные алюминия — полиалюмоорганосилоксаны. Вулканизованные покрытия на основе полиалюмоорганосилоксанов обладают более высокой устойчивостью к воспламенению и лучшими физико-механическими свойствами по сравнению с немодифицированными отверженными силоксановыми покрытиями на основе жидких каучуков СКТН.

Ключевые слова: силоксановые покрытия; модифицирование; соединения алюминия.

Защитные текстильные материалы с силоксановым покрытием являются материалами пониженной пожарной опасности [1–3]. Однако устойчивость к воспламенению и физико-механические свойства этих материалов недостаточны для материалов пониженной пожарной опасности. В настоящее время большой практический интерес вызывают кремнийорганические соединения, представляющие собой полимерные кремнийорганические производные неорганических элементов, относящихся, в частности, к третьей группе периодической системы Менделеева. Наибольший интерес представляют кремнийорганические производные алюминия — полиалюмоорганосилоксаны [4, 5].

Полиалюмоорганосилоксаны используются для получения модифицированных силоксановых смол и пластмасс на их основе с повышенной термостойкостью. Такие пластмассы работоспособны при 400–420 °C [6]. Электроизоляционные компаунды на основе полиалюмоорганосилоксанов обладают повышенной теплостойкостью и стабильными диэлектрическими свойствами в условиях повышенной влажности и действия высоких температур [7]. Добавки полиалюмоорганосилоксанов улучшают теплостойкость и эластичность электроизоляционных

лаков. Полиалюмоэтилсилоксаны и полиалюмофенилсилоксаны, пластические массы, компаунды, лаки и материалы на основе полиалюмоорганосилоксанов выпускаются отечественной промышленностью [8]. Алюмосилоксаны с фталоцианиновыми группировками обладают высокой термостойкостью, сублимируясь при температурах выше 500 °C, что позволяет использовать их в качестве теплоносителей.

Таким образом, полиалюмоорганосилоксаны имеют широкое практическое применение. Однако об использовании их в качестве покрытий защитных текстильных материалов сведения отсутствуют. Из литературы известно [9, 10], что при взаимодействии алюминиевой пудры с полисилоксандиолами при повышенных температурах протекает реакция поликонденсации, но при этом гидроксильные группы полисилоксандиолов в небольшом количестве (~ 1–1,5 %) вступают во взаимодействие с алюминием [4]:

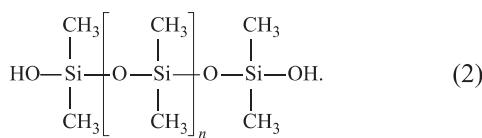


Реакция (1) протекает с выделением газообразного водорода. Этую реакцию следует учитывать при объяснении высокой термостойкости полисилокса-

© Тимофеева С. В., Малясова А. С., Хелевина О. Г., 2010

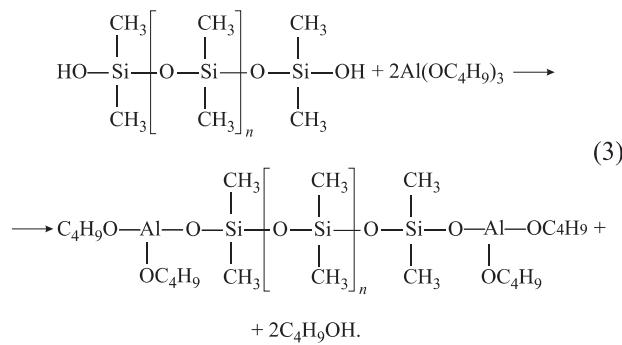
новых покрытий, пигментированных алюминиевой пудрой [4, 8].

В настоящей работе изучено модифицирование силоксановых покрытий защитных материалов соединениями алюминия с целью повышения их пожарной безопасности и улучшения физико-механических свойств. В работе были использованы выпускаемые в России в промышленном масштабе жидкые низкомолекулярные силоксановые каучуки СКТН марок А, Б, В, Г, отличающиеся своей молекулярной массой: СКТН-А — 20000–40000, СКТН-Б — 40000–60000, СКТН-В — 60000–80000, СКТН-Г — 80000–100000. Эти каучуки имеют следующее строение:



Для отверждения каучуков использовали бутилат алюминия, тетраэтоксисилан, представляющий собой полный эфир ортокремниевой кислоты $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, и этилсиликат-40 — частично омыленный эфир ортокремниевой кислоты. В качестве модифицирующих соединений применяли бутилат алюминия, оксид и гидроксид алюминия.

Взаимодействие низкомолекулярных жидкых силоксановых каучуков СКТН с бутилатом алюминия происходит по следующей реакции [5, 11]:



При повышении температуры и увеличении продолжительности реакции происходит поликонденсация с образованием полиалюмооргансилоксанов циклосетчатой структуры [4, 5, 12], содержание которых в структурированных полиалюмооргансилоксана зависит от количества взятого бутилата алюминия.

Методом инфракрасной спектроскопии проведено исследование вулканизованных полиалюмооргансилоксановых пленок, полученных модифицированием низкомолекулярного силоксанового каучука СКТН-А бутилатом алюминия. Инфракрасные спектры регистрировали на спектрофотометре AVATARTM 360-FT-IR-ESP. Образцы готовили по стандартной методике таблетирования вулканизо-

ванных полиалюмооргансилоксанов в KBr [13]. Анализ полученных инфракрасных спектров полиалюмооргансилоксанов показал наличие широкой полосы поглощения в интервале 1050–1060 cm^{-1} , соответствующей группировкам Si—O—Al, что согласуется с данными ранее выполненных работ [14–16].

В инфракрасных спектрах полиалюмооргансилоксановых пленок, вулканизованных при температурах ниже 100 °C, имеется также полоса поглощения 946 cm^{-1} , которая исчезает при температурах вулканизации порядка 120–150 °C. Полосу поглощения 946 cm^{-1} авторы работы [14] относят к колебаниям OH-группы. Исчезновение этой полосы при повышенных температурах вулканизации полиалюмооргансилоксановых пленок, по-видимому, связано с более полным протеканием процесса поликонденсации. Таким образом, при модифицировании низкомолекулярного силоксанового каучука СКТН-А бутилатом алюминия группировки O—Al входят в состав цепи низкомолекулярного каучука СКТН-А с образованием полиалюмооргансилоксанов.

Изучены свойства защитных материалов с вулканизованным покрытием на основе полиалюмооргансилоксанов, полученных модифицированием жидких низкомолекулярных силоксановых каучуков СКТН бутилатом алюминия. В качестве тканевых основ защитных материалов использованы капроновая ткань арт. 56007 и лавсановая ткань арт. 56208. Нанесение композиций на ткани производили ножевой раклей двумя штрихами с последующим отверждением при температуре 150 °C в течение 1 мин.

Составы композиций и свойства материалов с вулканизованным покрытием на основе полученных полиалюмооргансилоксанов приведены в табл. 1 и 2. Сравнение данных таблиц с результатами, полученными в работе [1], позволяет сделать заключение, что вулканизованные покрытия на основе полиалюмооргансилоксанов значительно более устойчивы к действию открытого пламени по сравнению с вулканизованными немодифицированными покрытиями на основе жидких силоксановых каучуков СКТН. Физико-механические свойства покрытий на основе полиалюмооргансилоксанов также существенно выше. В частности, устойчивость к истиранию этих покрытий в 8–10 раз превышает устойчивость к истиранию вулканизованных немодифицированных покрытий на основе жидких силоксановых каучуков СКТН [1]. Введение алюминиевой пудры в состав покрытий на основе полиалюмооргансилоксанов приводит к дальнейшему повышению пожарной безопасности покрытий, что согласуется с результатами работ [6, 9] и подтверждает возможность взаимодействия силенольных групп каучуков СКТН с алюминием (уравнение (1)).

Таблица 1. Составы композиций и свойства материалов с вулканизованным покрытием на основе полиалюмооргансилоксанов на капроновой ткани арт. 56007

Компоненты композиции и свойства материала	Содержание компонентов, масс. ч., и значение показателя полученного материала																			
Каучук СКТН:																				
марки А 100 – 100 – – 100 100 – – –																				
марки Б – 100 – – – – – – – 100																				
марки В – – – 100 – – – – –																				
марки Г – – – – 100 – – 100 –																				
Бутилат алюминия 5 5 10 5 5 10 10 10 5																				
Алюминиевая пудра – – – – – 5 10 10 5																				
Свойства материалов с вулканизованным покрытием																				
Воспламеня-емость, с 57 58 59 58 58 68 80 78 65																				
Кислородный индекс, % 37 37 38 36 37 40 45 44 39																				
Истираемость, г/(кВт·ч) 45 44 50 43 44 43 42 42 43																				
Водонепрони-цаемость, ч 24 24 24 24 24 24 24 24 24																				
Масса 1 м ² , г 240 238 235 239 242 245 250 252 242																				

Сравнение данных табл. 1 и 2 позволяет сделать заключение, что защитные материалы на основе капроновой ткани обладают несколько большей устойчивостью к воспламенению по сравнению с материалами на лавсановой ткани. Это объясняется взаимодействием амидных группировок капрона с атомами кислорода вулканизованных полиалюмооргансилоксанов вследствие образования между ними водородных связей. Атомы кремния в полиалюмооргансилоксанах имеют меньшую электроприятельность по сравнению с атомами углерода, поэтому избыточный отрицательный заряд на атоме кислорода в молекуле полиалюмооргансилоксана оказывается больше, чем аналогичный заряд на атоме кислорода группы C=O в капроне. Вследствие этого водородные связи между группами NH капрона и Si—O—Si полиалюмооргансилоксана оказываются энергетически более выгодными, чем связи NH и C=O двух соседних молекул капрона.

Исследование инфракрасных спектров капроновой ткани с вулканизованным полиалюмооргансилоксанным покрытием показало, что при вулканизации полиалюмооргансилоксана, нанесенного на капрон, усиливается интенсивность поглощения в области 793 см⁻¹, соответствующей внеплоскостным деформационным колебаниям NH-групп. При этом в результате образования водородных связей

Таблица 2. Составы композиций и свойства материалов с вулканизованным покрытием на основе полиалюмооргансилоксанов на лавсановой ткани арт. 56208

Компоненты композиции и свойства материала	Содержание компонентов, масс. ч., и значение показателя полученного материала																			
Каучук СКТН:																				
марки А 100 – 100 – – 100 100 – – –																				
марки Б – 100 – – – – – – – 100																				
марки В – – – 100 – – – – –																				
марки Г – – – – 100 – – 100 –																				
Бутилат алюминия 5 5 10 5 5 10 10 10 5																				
Алюминиевая пудра – – – – – 5 10 10 5																				
Свойства материалов с вулканизованным покрытием																				
Воспламеня-емость, с 54 55 56 55 54 65 76 75 63																				
Кислородный индекс, % 36 36 37 36 36 39 44 43 38																				
Истираемость, г/(кВт·ч) 47 46 52 45 45 46 45 46 47																				
Водонепрони-цаемость, ч 24 24 24 24 24 24 24 24 24																				
Масса 1 м ² , г 238 235 234 236 240 247 248 250 245																				

между амидной группировкой капрона и кислородом вулканизованного полиалюмооргансилоксана происходит смещение полосы 793 см⁻¹ в сторону низких частот на 15 см⁻¹.

При нанесении вулканизованных покрытий на основе полиалюмооргансилоксанов на лавсановые ткани никакого взаимодействия покрытий с лавсаном не происходит, и инфракрасные спектры материалов на основе полиалюмооргансилоксанов, нанесенных на лавсановую ткань, представляют собой простое наложение спектров вулканизированного полиалюмооргансилоксана и полиэтилентерефталата (лавсана).

Изучено модифицирование низкомолекулярных жидкых силоксановых каучуков СКТН оксидом и гидроксидом алюминия. Силоксановые композиции имели следующий состав (масс. ч.):

Низкомолекулярный силоксановый каучук СКТН	100
Этилсиликат-40	10–20
Дибутиллауринат олова	1–1,5
Оксид или гидроксид алюминия	5–15
Алюминиевая пудра	0–10

Для повышения стабильности силоксановых композиций в них перед введением катализатора дибутиллаурината олова можно дополнительно добавлять ледянную уксусную кислоту и оксид кальция.

Таблица 3. Составы композиций и свойства материалов с вулканизированным модифицированным силоксановым покрытием на основе полиалюмоорганосилоксанов на капроновой ткани арт. 56007

Компоненты композиции и свойства материала	Содержание компонентов, масс. ч., и значение показателя полученного материала									
Каучук СКТН:										
марки А	100	—	—	—	100	100	—	—	—	100
марки Б	—	100	—	—	—	—	100	—	—	—
марки В	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—
марки Г	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—
Этилсиликат-40	10	15	20	15	20	10	15	20	15	20
Дибутиллауринат олова	1	1,25	1,5	1,25	1,5	1	1,25	1,5	1,25	1,5
Оксид алюминия	5	10	15	10	15	—	—	—	—	—
Гидроксид алюминия	—	—	—	—	—	5	10	15	10	15
Алюминиевая пудра	—	—	—	5	10	—	—	—	5	10
Свойства материалов с вулканизированным покрытием										
Воспламеняемость, с	52	53	54	60	62	51	52	53	59	61
Кислородный индекс, %	35	36	36	38	40	34	35	36	38	40
Истираемость, г/(кВт·ч)	52	50	49	51	52	53	51	52	54	55
Водонепроницаемость, ч	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Масса 1 м ² , г	238	240	242	243	245	239	242	244	245	247

Таблица 4. Составы композиций и свойства материалов с вулканизированным модифицированным силоксановым покрытием на основе полиалюмоорганосилоксанов на лавсановой ткани арт. 56208

Компоненты композиции и свойства материала	Содержание компонентов, масс. ч., и значение показателя полученного материала									
Каучук СКТН:										
марки А	100	—	—	—	100	100	—	—	—	100
марки Б	—	100	—	—	—	—	100	—	—	—
марки В	—	—	100	—	—	—	—	100	—	—
марки Г	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—
Этилсиликат-40	10	15	20	15	20	10	15	20	15	20
Дибутиллауринат олова	1	1,25	1,5	1,25	1,5	1	1,25	1,5	1,25	1,5
Оксид алюминия	5	10	15	10	15	—	—	—	—	—
Гидроксид алюминия	—	—	—	—	—	5	10	15	10	15
Алюминиевая пудра	—	—	—	5	10	—	—	—	5	10
Свойства материалов с вулканизированным покрытием										
Воспламеняемость, с	50	51	52	58	60	49	50	51	57	59
Кислородный индекс, %	34	35	35	37	39	33	34	35	37	38
Истираемость, г/(кВт·ч)	54	52	51	53	54	56	54	53	56	58
Водонепроницаемость, ч	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Масса 1 м ² , г	237	239	240	243	245	239	241	244	246	249

В инфракрасных спектрах пленок, полученных при вулканизации вышеуказанных композиций при температурах 150–160 °C, имеется широкая полоса поглощения в интервале 1050–1060 см⁻¹, соответствующая группировкам Si—O—Al [14–16], что указывает на образование полиалюмоорганосилоксанов.

Составы композиций и свойства материалов с вулканизированным модифицированным силоксановым покрытием на капроновой и лавсановой тканях приведены в табл. 3 и 4. При исследовании свойств материалов с вулканизированным силоксановым по-

крытием воспламеняемость определяли по поверхности вспышке по ГОСТ Р 50810–95, кислородный индекс — по ГОСТ 12.1.044–89, водонепроницаемость по Кошелю — по ГОСТ 22944–78, истираемость — по ГОСТ 8975–75, массу 1 м² — по ГОСТ 17073–71.

Данные табл. 3 и 4 позволяют сделать заключение, что воспламеняемость материалов с вулканизированным силоксановым покрытием, модифицированным оксидом и гидроксидом алюминия, ниже, чем материалов с немодифицированным отвержен-

ным силоксановым покрытием [1]. Устойчивость модифицированных покрытий к истиранию в 8–10 раз выше по сравнению с немодифицированными покрытиями [1].

Введение в состав модифицированных покрытий алюминиевой пудры снижает пожарную опасность материалов. Материалы на капроновой ткани обладают несколько большей устойчивостью к воспламенению по сравнению с материалами из лавсановой ткани. Модификация силоксановых покрытий бутилатом алюминия позволяет получать менее пожароопасные материалы, чем модификация оксидом и гидроксидом алюминия.

Таким образом, модификация силоксановых покрытий соединениями алюминия приводит к образованию кремнийорганических производных алюминия — полиалюмоорганосилоксанов. Вулканизованные покрытия на основе полиалюмоорганосилоксанов обладают более высокой устойчивостью к воспламенению и лучшими физико-механическими свойствами по сравнению с немодифицированными отверженными силоксановыми покрытиями.

Работа выполнена при поддержке гранта Российской фонда фундаментальных исследований № 09-03-97504 р_центр_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеева С. В., Осипов А. Е., Хелевина О. Г. Материалы пониженной пожарной опасности на основе отверженных силоксановых каучуков // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 5. — С. 25–30.
2. Пат. 2203993 Российская Федерация, С1 Д06 М15/643, 15/248, С08 К21/14. Огнестойкий текстильный материал / Журко А. В., Хелевин Р. Н., Никитин Ю. А.; заявитель и патентообладатель НПО "Конверсипол", Иваново. — Опубл. 15.07.2003, Бюл. № 14. — 4 с.
3. Пат. 2265683 Российская Федерация, С2 Д06 М15/693, С09 К21/06. Композиция для получения огнестойких текстильных материалов / Журко А. В., Хелевин Р. Н., Уткин Г. В.; заявитель и патентообладатель НПО "Конверсипол", Иваново. — Опубл. 10.12.2005, Бюл. № 34. — 4 с.
4. Борисов С. Н., Воронков М. Г., Лукевич Э. Я. Кремнеэлементоорганические соединения. — М. : Химия, 1966. — С. 235–278.
5. Андрианов К. А. Методы элементоорганической химии. Кремний. — М. : Наука, 1968. — С. 615–622.
6. Андрианов К. А. О важнейших направлениях развития химии кремнийорганических соединений // Труды конференции "Химия и практическое применение кремнийорганических соединений". — М. : Изд-во АН СССР, 1961. — Вып. 6. — С. 213–214.
7. Голубков Г. Е., Колганова В. А. Влияние добавок полиалюмоорганосилоксанов на физические свойства полидиметилполифенилсилоксанов // Пластмассы. — 1964. — № 1. — С. 24–28.
8. Андрианов К. А. Термостойкие кремнийорганические диэлектрики. — М. : Госэнергоиздат, 1957. — 312 с.
9. Андрианов К. А., Жданов А. А. О взаимодействии металлов с гидроксилсодержащими кремнеорганическими соединениями // Изв. АН СССР. — 1958. — № 8. — С. 1076–1083.
10. Жданов А. А., Андрианов К. А. Полиорганометаллосилоксаны и полиорганосилоксиметаллоксаны // Труды конференции "Химия и практическое применение кремнийорганических соединений". — М. : Изд-во АН СССР, 1961. — Вып. 6. — С. 220–227.
11. Андрианов К. А., Жданов А. А. Поликонденсация как метод получения полидиалкилсилоксновых и полиалюмодиалкилсилоксновых эластомеров // ДАН СССР. — 1961. — Т. 138, № 3. — С. 361–364.
12. Андрианов К. А., Жданов А. А. К вопросу о синтезе полиалюмоорганосилоксанов с циклосетчатой структурой молекул // Изв. АН СССР, ОХН. — 1962. — № 4. — С. 839–844.
13. Дехант И., Данц Р., Киммер В., Шмольке Р. Инфракрасная спектроскопия полимеров. — М. : Химия, 1976. — С. 46–54.
14. Андрианов К. А., Гашникова Н. П., Аснович Э. З. Исследование инфракрасных спектров поглощения полиалюмоорганосилоксанов с циклосетчатой структурой молекул // Изв. АН СССР, ОХН. — 1960. — № 5. — С. 957–964.
15. Нудельман З. Н., Андрианов К. А., Кудрявицкая Г. П. Синтез линейных политриэтилсилоксиалюмо- и политриэтилсилокситанодиметилсилоксанов // Высокомол. соед. — 1962. — Т. 4, № 3. — С. 440–446.
16. Шмидбауэр Г. Новые достижения химии гетеросилоксанов // Успехи химии. — 1966. — Т. 35, вып. 12. — С. 2204–2218.

*Материал поступил в редакцию 7 июня 2010 г.
Электронный адрес авторов: timofeeva63@bk.ru.*



Г. В. Кузнецов
д-р физ.-мат. наук, декан ТЭФ,
профессор Национального
исследовательского Томского
политехнического университета,
г. Томск, Россия



Н. В. Барановский
канд. физ.-мат. наук, докторант
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
ст. научный сотрудник НИИ прикладной
математики и механики ТГУ, г. Томск, Россия

УДК 533.6

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О ЗАЖИГАНИИ ХВОЙНОГО ДЕРЕВА НАЗЕМНЫМ ГРОЗОВЫМ РАЗРЯДОМ

Представлены результаты решения задачи о зажигании хвойного дерева электрическим током наземного грозового разряда в трехмерной постановке в цилиндрической системе координат. Рассматривается осесимметрическая постановка задачи. Учитывается локализация реактивной древесины, структурная неоднородность коры, вольт-амперные характеристики наземного грозового разряда, протекание химических реакций в газовой фазе. Выявлены условия зажигания хвойного дерева в типичном диапазоне изменения параметров воздействия разряда. Проведено сравнение вычислительной нагрузки для трехмерной и совокупности двумерных алгоритмов.

Ключевые слова: зажигание; пространственная постановка; наземный грозовой разряд; химическая реакция.

Введение

Дальнейшее развитие зарубежных и отечественных методов прогноза лесной пожарной опасности в boreальной зоне возможно посредством совершенствования физико-математических моделей зажигания хвойных деревьев в грозоопасной обстановке [1–4]. Такие модели реализованы в одномерных [1, 2] и двумерных [3, 4] постановках. При этом принимаются определенные значения параметров наземного грозового разряда (полярность, пиковый ток удара и напряжение, а также продолжительность действия), при которых возможно воспламенение древесины ствола [5].

Из экспериментальных исследований [6] известно, что зажигание древесины источником энергии возможно при достижении определенного уровня тепловых потоков и температуры ее поверхности. Важным фактором пожаропасности деревьев, который следует учитывать, является их сложное пространственное строение, в частности степень разветвленности и структурная неоднородность коры. В реальных условиях зажигания древесина разогревается и пиролизуется с выделением газообразных продуктов, которые и воспламеняются при определенных условиях. Необходимо определить время задержки зажигания хвойного дерева при прохождении по его стволу электрического тока наземного грозового разряда и выявить пространственные эффекты рассматриваемого процесса. В связи

с этим целесообразным представляется моделирование процесса зажигания древесины ствола хвойного дерева под действием грозового разряда в трехмерной постановке.

Цель исследования — математическое моделирование зажигания хвойного дерева электрическим током наземного грозового разряда в пространственной постановке с учетом основных факторов и определение условий его зажигания.

Физическая постановка задачи

В соответствии с [7, 8] электрический ток наземного грозового разряда проходит в подкорковой зоне ствола хвойного дерева, не проникая внутрь. Приняты основные допущения и предположения: 1) реактивная древесина образуется в нижней части ветвей [7]; 2) используется приближение “идеальной” трещины в коре [4]; 3) при расчетах рассматривается только часть ветви, исходящая из ствола. Остальная часть не рассматривается, так как ранее установлено, что за время воздействия электрического тока эта часть ветви не успевает разогреться [3]; 4) основной продукт пиролиза — моноксид углерода [9]; 5) ведущей химической реакцией является окисление моноксида углерода до диоксида углерода [10]; 6) дерево рассматривается как проводник типа резистор, для которого справедливы законы Ома и Джоуля – Ленца [8].

© Кузнецов Г. В., Барановский Н. В., 2010

Для описания моделируемого процесса принята следующая физическая модель. Рассматривается отдельно стоящее дерево хвойной породы. В фиксированный момент времени в ствол дерева ударяет грозовой разряд определенной полярности и продолжительности действия. Считается, что вольт-амперные характеристики разряда одинаковы для различных сечений ствола дерева. В результате протекания электрического тока в подкорковой зоне

древесина разогревается за счет выделения джоулем тепла. В процессе дальнейшего нагрева происходит термическое разложение древесины с образованием газообразных продуктов пиролиза, которые мгновенно поступают в область газовой фазы и смешиваются с окислителем. При определенных температуре и концентрациях реагентов происходит химическая реакция окисления моноксида углерода. Считается, что зажигание реализуется, если: 1) тепловой поток из зоны химической реакции превосходит тепловой поток из подкорковой зоны дерева; 2) достигаются критические значения температуры газовой смеси. Влиянием влажности древесины на процесс зажигания пренебрегается. Область решения задачи представлена на рис. 1, а, а границы областей — на рис. 1, б.

Математическая постановка задачи

Процесс зажигания хвойного дерева наземным грозовым разрядом описывается системой трехмерных нестационарных нелинейных уравнений теплопроводности и диффузии (1)–(26). Для численной реализации использован локально-одномерный конечно-разностный метод [11]. Разностные аналоги одномерных уравнений теплопроводности решены методом прогонки в сочетании с методом простой итерации [11].

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\lambda_1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_1}{r^2} \frac{\partial^2 T_1}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} - Q_p k_p \rho_1 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_1} \right), \quad (1)$$

$$z_0 \leq z \leq H_1, \quad 0 \leq r \leq R_2, \quad 0 \leq \varphi \leq \pi;$$

$$H_1 < z < H_3, \quad 0 \leq r \leq R_2, \quad 0 \leq \varphi \leq \varphi_1;$$

$$H_1 < z < H_3, \quad 0 \leq r \leq R_{reac}, \quad \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2;$$

$$H_1 < z < H_3, \quad 0 \leq r \leq R_2, \quad \varphi_2 \leq \varphi \leq \pi;$$

$$H_3 \leq z \leq z_t, \quad 0 \leq r \leq R_2, \quad 0 \leq \varphi \leq \pi;$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\lambda_2}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_2}{r^2} \frac{\partial^2 T_2}{\partial \varphi^2} +$$

$$+ \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} + JU - Q_p k_p \rho_2 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_2} \right), \quad (2)$$

$$z_0 \leq z \leq H_1, \quad R_2 < r \leq R_1, \quad 0 \leq \varphi \leq \pi;$$

$$H_1 < z < H_3, \quad R_2 < r \leq R_1, \quad 0 \leq \varphi \leq \varphi_1;$$

$$H_1 < z < H_3, \quad R_2 < r \leq R_1, \quad \varphi_2 \leq \varphi \leq \pi;$$

$$H_3 \leq z \leq z_t, \quad R_2 < r \leq R_1, \quad 0 \leq \varphi \leq \pi;$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \frac{\lambda_3}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_3}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_3}{r^2} \frac{\partial^2 T_3}{\partial \varphi^2} +$$

$$+ \lambda_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} - Q_p k_p \rho_3 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_3} \right), \quad (3)$$

$$z_0 \leq z \leq H_1, \quad R_1 < r \leq R_s, \quad 0 \leq \varphi \leq \varphi_2;$$

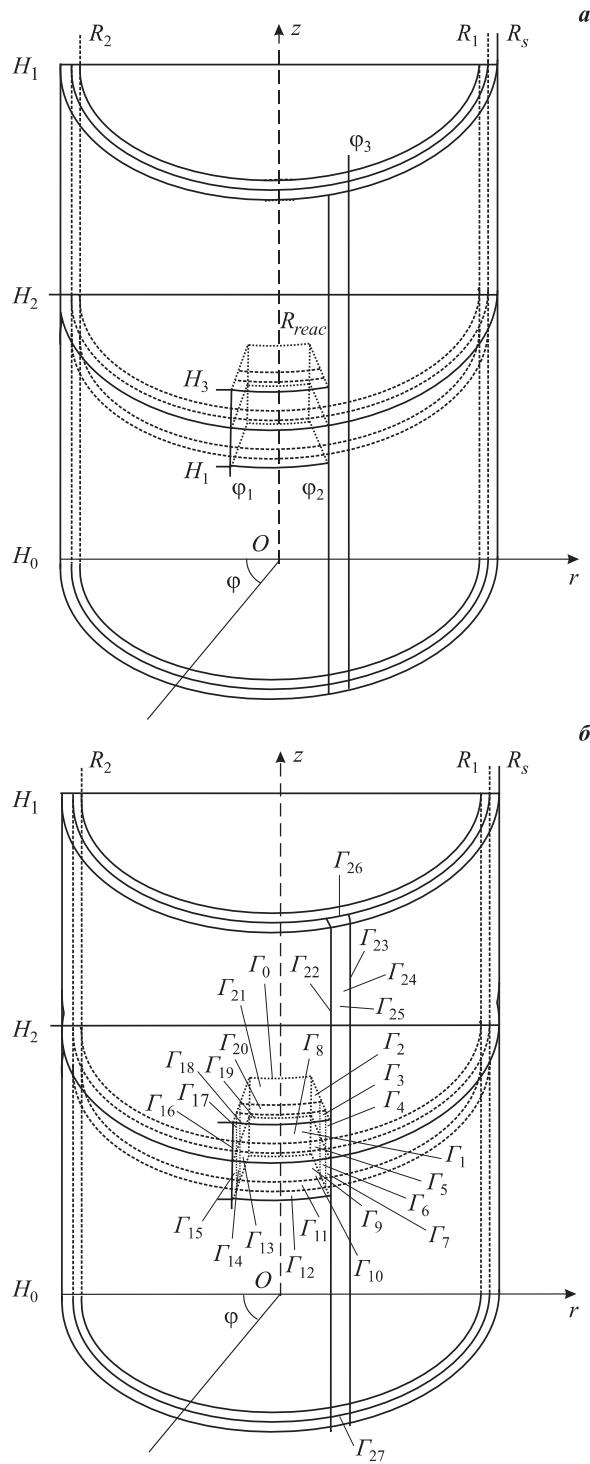


Рис. 1. Область решения задачи (а) и границы областей (б)

$$z_0 \leq z \leq H_1, \quad R_1 < r \leq R_s, \quad \varphi_3 \leq \varphi \leq \pi; \\ H_1 < z < H_3, \quad R_1 < r \leq R_s, \quad 0 \leq \varphi \leq \varphi_1;$$

$$H_1 < z < H_3, \quad R_1 < r \leq R_s, \quad \varphi_3 \leq \varphi \leq \pi; \\ H_3 \leq z \leq z_t, \quad R_1 < r \leq R_s, \quad 0 \leq \varphi \leq \varphi_2; \\ H_3 \leq z \leq z_t, \quad R_1 < r \leq R_s, \quad \varphi_3 \leq \varphi \leq \pi;$$

$$\rho_4 c_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} = \frac{\lambda_4}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_4}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_4}{r^2} \frac{\partial^2 T_4}{\partial \varphi^2} + \\ + \lambda_4 \frac{\partial^2 T_4}{\partial z^2} - Q_p k_p \rho_4 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_4} \right), \quad (4)$$

$$H_2 < z \leq H_3, \quad R_{reac} \leq r \leq R_2, \quad \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2;$$

$$\rho_5 c_5 \frac{\partial T_5}{\partial t} = \frac{\lambda_5}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_5}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_5}{r^2} \frac{\partial^2 T_5}{\partial \varphi^2} + \lambda_5 \frac{\partial^2 T_5}{\partial z^2} + \\ + JU - Q_p k_p \rho_5 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_5} \right), \quad (5)$$

$$H_2 < z \leq H_3, \quad R_2 < r \leq R_1, \quad \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2;$$

$$\rho_6 c_6 \frac{\partial T_6}{\partial t} = \frac{\lambda_6}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_6}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_6}{r^2} \frac{\partial^2 T_6}{\partial \varphi^2} + \lambda_6 \frac{\partial^2 T_6}{\partial z^2} - \\ - Q_p k_p \rho_6 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_6} \right), \quad (6)$$

$$H_2 < z \leq H_3, \quad R_1 < r \leq R_s, \quad \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2;$$

$$\rho_7 c_7 \frac{\partial T_7}{\partial t} = \frac{\lambda_7}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_7}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_7}{r^2} \frac{\partial^2 T_7}{\partial \varphi^2} + \lambda_7 \frac{\partial^2 T_7}{\partial z^2} - \\ - Q_p k_p \rho_7 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_7} \right), \quad (7)$$

$$H_1 \leq z \leq H_2, \quad R_{reac} \leq r \leq R_2, \quad \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2;$$

$$\rho_8 c_8 \frac{\partial T_8}{\partial t} = \frac{\lambda_8}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_8}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_8}{r^2} \frac{\partial^2 T_8}{\partial \varphi^2} + \lambda_8 \frac{\partial^2 T_8}{\partial z^2} + \\ + JU - Q_p k_p \rho_8 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_8} \right), \quad (8)$$

$$H_1 \leq z \leq H_2, \quad R_2 < r \leq R_1, \quad \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2;$$

$$\rho_9 c_9 \frac{\partial T_9}{\partial t} = \frac{\lambda_9}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_9}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_9}{r^2} \frac{\partial^2 T_9}{\partial \varphi^2} + \lambda_9 \frac{\partial^2 T_9}{\partial z^2} - \\ - Q_p k_p \rho_9 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_9} \right), \quad (9)$$

$$H_1 \leq z \leq H_2, \quad R_1 < r \leq R_s, \quad \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2;$$

$$\rho_g c_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\lambda_g}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_g}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_g}{r^2} \frac{\partial^2 T_g}{\partial \varphi^2} + \\ + \lambda_g \frac{\partial^2 T_g}{\partial z^2} + Q_5 (1 - v_5) R_5, \quad (10)$$

$$H_0 \leq z \leq H_t, \quad R_1 < r \leq R_s, \quad \varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_3;$$

$$H_0 \leq z \leq H_t, \quad R_s < r \leq R_e, \quad 0 \leq \varphi \leq \pi;$$

$$\frac{\partial C_{10}}{\partial t} = \frac{D}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C_{10}}{\partial r} \right) + \frac{D}{r^2} \frac{\partial^2 C_{10}}{\partial \varphi^2} + \\ + D \frac{\partial^2 C_{10}}{\partial z^2} - R_5 \frac{M_4}{2M_5}, \quad (11)$$

$$H_0 \leq z \leq H_t, \quad R_1 < r \leq R_s, \quad \varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_3; \\ H_0 \leq z \leq H_t, \quad R_s < r \leq R_e, \quad 0 \leq \varphi \leq \pi;$$

$$\frac{\partial C_{11}}{\partial t} = \frac{D}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C_{11}}{\partial r} \right) + \frac{D}{r^2} \frac{\partial^2 C_{11}}{\partial \varphi^2} + \\ + D \frac{\partial^2 C_{11}}{\partial z^2} - R_5, \quad (12)$$

$$H_0 \leq z \leq H_t, \quad R_1 < r \leq R_s, \quad \varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_3; \\ H_0 \leq z \leq H_t, \quad R_s < r \leq R_e, \quad 0 \leq \varphi \leq \pi; \\ \sum_{i=10}^{12} C_i = 1; \quad (13)$$

$$\sum_{i=13}^{14} \varphi_i = 1; \quad (14)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_{13}}{\partial t} = -k_p \rho_1 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_1} \right); \quad (15)$$

$$\rho_2 \frac{\partial \varphi_{13}}{\partial t} = -k_p \rho_2 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_2} \right); \quad (16)$$

$$\rho_3 \frac{\partial \varphi_{13}}{\partial t} = -k_p \rho_3 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_3} \right); \quad (17)$$

$$\rho_4 \frac{\partial \varphi_{13}}{\partial t} = -k_p \rho_4 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_4} \right); \quad (18)$$

$$\rho_5 \frac{\partial \varphi_{13}}{\partial t} = -k_p \rho_5 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_5} \right); \quad (19)$$

$$\rho_6 \frac{\partial \varphi_{13}}{\partial t} = -k_p \rho_6 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_6} \right); \quad (20)$$

$$\rho_7 \frac{\partial \varphi_{13}}{\partial t} = -k_p \rho_7 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_7} \right); \quad (21)$$

$$\rho_8 \frac{\partial \varphi_{13}}{\partial t} = -k_p \rho_8 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_8} \right); \quad (22)$$

$$\rho_9 \frac{\partial \varphi_{13}}{\partial t} = -k_p \rho_9 \varphi_{13} \exp \left(-\frac{E_1}{RT_9} \right); \quad (23)$$

$$R_5 = k_5 M_{11} T^{-2,25} \times \\ \times \exp \left(-\frac{E_5}{RT_g} \right) \begin{cases} x_{10}^{0,25} x_{11}, & x_{10} > 0,05; \\ x_{10} x_{11}, & x_{10} \leq 0,05 \end{cases}; \quad (24)$$

$$x_i = \frac{C_i}{\sum_{k=10}^{12} \frac{C_k}{M_k} M_i}; \quad (25)$$

$$P = \frac{\rho RT}{M}; \quad \frac{1}{M} = \frac{C_{10}}{M_{10}} + \frac{C_{11}}{M_{11}} + \frac{C_{12}}{M_{12}}. \quad (26)$$

Начальные условия для системы уравнений (1)–(26):

$$T_i|_{t=0} = T_{i0}, \quad C_i|_{t=0} = C_{i0}, \quad \varphi_i|_{t=0} = \varphi_{i0}. \quad (27)$$

Граничные условия для системы уравнений (1)–(26):

а) вне области ветви:

$$r = 0: \quad \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial r} = 0; \quad (28)$$

$$r = R_2: \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}; \quad (29)$$

$$r = R_1: \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}; \quad (30)$$

$$r = R_s: \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} = \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial r}; \quad (31)$$

$$r = R_e: \quad T_g = T_e; \quad (32)$$

$$\varphi = 0: \quad \frac{\partial T_i}{\partial \varphi} = 0; \quad (33)$$

$$\varphi = \pi: \quad \frac{\partial T_i}{\partial \varphi} = 0; \quad (34)$$

$$z = z_b: \quad \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial z} = 0; \quad (35)$$

$$z = z_t: \quad \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial z} = 0; \quad (36)$$

б) на внутренней стороне ветви:

$$\Gamma_0: \quad \lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial r} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r}; \quad (37)$$

$$\Gamma_1: \quad \lambda_7 \frac{\partial T_7}{\partial r} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r}; \quad (38)$$

в) на границе правой грани ветви и трещины:

$$\Gamma_2: \quad \lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial \varphi} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial \varphi}; \quad (39)$$

$$\Gamma_3: \quad \lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial \varphi} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial \varphi}; \quad (40)$$

$$\Gamma_4: \quad \lambda_6 \frac{\partial T_6}{\partial \varphi} = \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial \varphi}; \quad (41)$$

$$\Gamma_5: \quad \lambda_7 \frac{\partial T_7}{\partial \varphi} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial \varphi}; \quad (42)$$

$$\Gamma_6: \quad \lambda_8 \frac{\partial T_8}{\partial \varphi} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial \varphi}; \quad (43)$$

$$\Gamma_7: \quad \lambda_9 \frac{\partial T_9}{\partial \varphi} = \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial \varphi}; \quad (44)$$

г) на внешнем срезе ветви:

$$\Gamma_8: \quad \lambda_6 \frac{\partial T_6}{\partial r} = \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial r}; \quad (45)$$

$$\Gamma_9: \quad \lambda_9 \frac{\partial T_9}{\partial r} = \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial r}; \quad (46)$$

д) на нижней грани ветви:

$$\Gamma_{10}: \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = \lambda_7 \frac{\partial T_7}{\partial z}; \quad (47)$$

$$\Gamma_{11}: \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} = \lambda_8 \frac{\partial T_8}{\partial z}; \quad (48)$$

$$\Gamma_{12}: \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial z} = \lambda_9 \frac{\partial T_9}{\partial z}; \quad (49)$$

е) на левой грани ветви:

$$\Gamma_{13}: \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial \varphi} = \lambda_7 \frac{\partial T_7}{\partial \varphi}; \quad (50)$$

$$\Gamma_{14}: \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial \varphi} = \lambda_8 \frac{\partial T_8}{\partial \varphi}; \quad (51)$$

$$\Gamma_{15}: \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial \varphi} = \lambda_9 \frac{\partial T_9}{\partial \varphi}; \quad (52)$$

$$\Gamma_{16}: \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial \varphi} = \lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial \varphi}; \quad (53)$$

$$\Gamma_{17}: \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial \varphi} = \lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial \varphi}; \quad (54)$$

$$\Gamma_{18}: \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial \varphi} = \lambda_6 \frac{\partial T_6}{\partial \varphi}; \quad (55)$$

ж) на верхней грани ветви:

$$\Gamma_{19}: \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial z} = \lambda_6 \frac{\partial T_6}{\partial z}; \quad (56)$$

$$\Gamma_{20}: \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} = \lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial z}; \quad (57)$$

$$\Gamma_{21}: \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = \lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial z}; \quad (58)$$

з) на границе трещины, исключая правую грань ветви:

$$\Gamma_{22}: \quad \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial \varphi} = \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial \varphi}; \quad (59)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{10}}{\partial \varphi} = 0; \quad (60)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{11}}{\partial \varphi} = 0; \quad (61)$$

$$\Gamma_{23}: \quad \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial \varphi} = \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial \varphi}; \quad (62)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{10}}{\partial \varphi} = 0; \quad (63)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{11}}{\partial \varphi} = 0; \quad (64)$$

$$\Gamma_{24}: \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial r}; \quad (65)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{10}}{\partial r} = 0; \quad (66)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{11}}{\partial r} = Y_5; \quad (67)$$

$$\Gamma_{25}: \quad T_g = T_e; \quad (68)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{10}}{\partial r} = 0; \quad (69)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{11}}{\partial r} = 0; \quad (70)$$

$$\Gamma_{26}: \quad \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial z} = 0; \quad (71)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{10}}{\partial z} = 0; \quad (72)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{11}}{\partial z} = 0; \quad (73)$$

$$\Gamma_{27}: \quad \lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial z} = 0; \quad (74)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{10}}{\partial z} = 0; \quad (75)$$

$$\rho D \frac{\partial C_{11}}{\partial z} = 0. \quad (76)$$

Здесь T_i , ρ , c_i , λ_i — температура, плотность, теплопроводность и теплопроводность внутренней части ствола ($i = 1$), подкорковой зоны ($i = 2$), коры ($i = 3$), верхней части ветви ($i = 4, 5, 6$), нижней части ветви ($i = 7, 8, 9$); C_i , M_i — концентрация и молярная масса кислорода ($i = 10$), моноксида углерода ($i = 11$) и инертных компонент ($i = 12$); J — сила тока; U — напряжение; ϕ_i — объемные доли органического вещества ($i = 13$) и газовой фазы ($i = 14$); P — давление в газовой фазе; x_i — вспомогательные множители; M — молярная масса; Q_p — тепловой эффект пиролиза; k_p — предэкспоненциальный множитель реакции пиролиза; E_1 — энергия активации реакции пиролиза; Q_5 — тепловой эффект реакции окисления моноксида углерода; k_5 — предэкспоненциальный множитель реакции окисления моноксида углерода; E_5 — энергия активации реакции окисления моноксида углерода; v_5 — доля теплоты, поглощенная слоем древесины; Y_5 — поток массы; D — коэффициент диффузии; R — универсальная газовая постоянная; r , ϕ , z — цилиндрические координаты; t — время; R_e — граница расчетной области; R_s — внешний радиус ствола; R_1 — граница раздела коры и подкорковой зоны; R_2 — граница раздела сердцевины ствола и подкорковой зоны; R_{reac} — левая грань ветви, исходящей из ствола дерева; H_1H_2 — толщина зоны реактивной древесины (нижней части ветви); H_2H_3 — толщина верхней части ветви; Γ_j — обозначения границ областей. Индексы “e” и “0” соответствуют параметрам

внешней среды и параметрам в начальный момент времени. Индексы “b” и “t” соответствуют параметрам на нижней и верхней границах расчетной области по вертикали ствола. Индексы в обозначениях границ структурной неоднородности (ветви и трещины) предназначены для их нумерации.

Численное моделирование проведено с использованием следующих исходных данных:

- для древесины сосны (внутренняя часть): $\rho = 500 \text{ кг}/\text{м}^3$; $c = 1670 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $\lambda = 0,12 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- для подкоркового слоя: $\rho = 500 \text{ кг}/\text{м}^3$; $c = 2600 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $\lambda = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- для коры: $\rho = 500 \text{ кг}/\text{м}^3$; $c = 1670 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $\lambda = 0,12 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- для реактивной древесины: $\rho = 650 \text{ кг}/\text{м}^3$; $c = 1670 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $\lambda = 0,12 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Геометрические характеристики области решения: $R_e = 0,3 \text{ м}$; $R_s = 0,25 \text{ м}$; $R_1 = 0,245 \text{ м}$; $R_2 = 0,235 \text{ м}$; $R_{reac} = 0,225 \text{ м}$; $H_1H_2 = 0,05 \text{ м}$; $H_2H_3 = 0,05 \text{ м}$.

Параметры внешней среды: $T_e = 300 \text{ К}$.

Результаты моделирования и их обсуждение

Численное моделирование в трехмерной постановке показывает, что увеличение размерности задачи не позволяет выявить новые закономерности. Основные результаты совпадают с расчетами, полученными по совокупности двумерных задач (а — с учетом локализации реактивной древесины [3]; б — с учетом химических реакций в газовой фазе [4]) и одномерной постановки [2], учитывающей влияние М-компонентов наземного грозового разряда [12]. Таким образом, трехмерная постановка является обобщением задачи о зажигании хвойного дерева. На рис. 2 представлено радиальное распределение температуры в различных сечениях, на рис. 3 — распределение компонент газовой фазы в момент зажигания в различных сечениях.

Основные результаты соответствуют данным, полученным по упрощенным постановкам:

1. В зоне реактивной древесины формируется поле пониженной температуры. Кроме того, продукты пиролиза поступают из этой зоны в меньшем количестве. Таким образом, наличие реактивной древесины должно снижать вероятность возникновения лесного пожара.

2. Разогрев древесины происходит в узкой подкорковой зоне, чем объясняется меньшее повреждение сосен по сравнению с лиственными деревьями, которые иногда разрывается изнутри.

3. Воспламенение хвойного дерева происходит в газовой фазе в области трещины. Именно здесь создаются условия для зажигания: температура достигает некоторых значений, при которых компо-

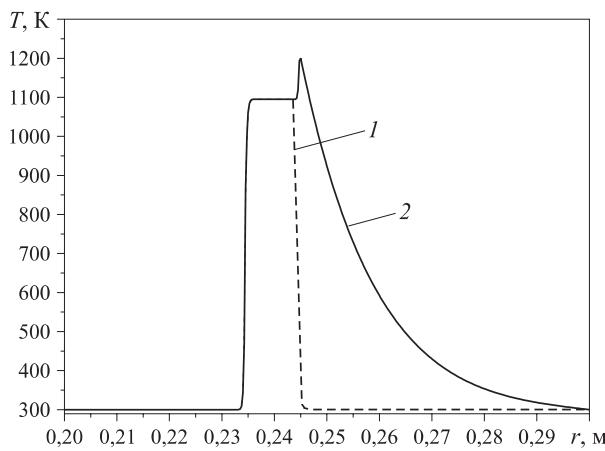


Рис. 2. Радиальное распределение температуры в момент зажигания: 1 — сечение вне трещины в коре; 2 — сечение, проходящее через трещину в коре

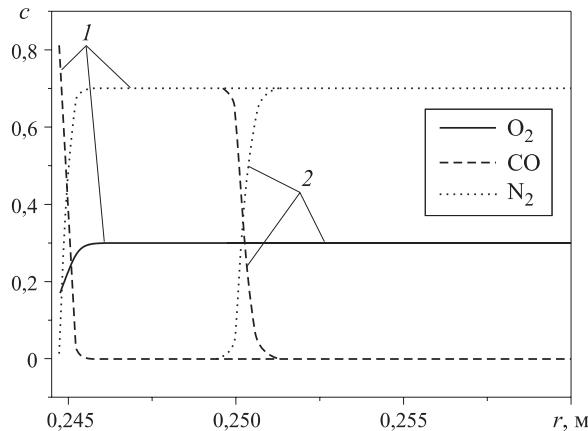


Рис. 3. Зависимости концентраций компонент газовой фазы в момент зажигания: 1 — сечение в трещине; 2 — сечение вне трещины

ненты, достигая определенных концентраций, вступают в реакцию.

4. Наличие коркового барьера в трещине толщиной даже 1,5 мм снижает температуру в газовой фазе и может предотвратить воспламенение.

5. Сколько-нибудь заметное разложение древесины и переход горючих компонент в газовую фазу происходят при воздействии рассматриваемого наземного грозового разряда в течение более 0,3 с. Следовательно, кратковременный разряд с указанными вольт-амперными характеристиками не приводит к зажиганию древесины ствола дерева, по крайней мере, по двум причинам: во-первых, из-за недостаточной концентрации горючих компонент в газовой смеси и, во-вторых, из-за недостаточного прогрева самой смеси газов.

6. Различия в толщине трещины в реальных условиях не оказывают существенного влияния на время задержки зажигания хвойного дерева.

Таблица 1. Время задержки зажигания дерева в зависимости от напряжения разряда при силе тока $J = 23,5$ кА

Напряжение U , кВ	Время задержки зажигания t^* , с
1–85	Зажигания не происходит
90	0,516
95	0,486
100	0,463
105	0,441
110	0,423

Таблица 2. Время задержки зажигания ствола дерева в зависимости от силы тока при напряжении $U = 100$ кВ

Сила тока J , кА	Время задержки зажигания t^* , с
1–20	Зажигания не происходит
23,5	0,463
30,0	0,366
35,0	0,317

7. Значения времени задержки зажигания в задаче в трехмерной постановке незначительно больше, чем при реализации двумерной постановки в приближении “идеальной” трещины. Это объясняется близостью трещины к ветви (именно такой вариант рассматривался в расчетах). Значения времени задержки зажигания в зависимости от вольт-амперных характеристик грозового разряда представлены в табл. 1 и 2.

8. Наличие М-компонентов наземного грозового разряда практически не оказывает влияния на процесс разогрева древесины и зажигания хвойного дерева.

Для практических целей следует провести исследование затрат времени на численный расчет на вычислительной технике. Сравнению подвергались два варианта программных реализаций: а) полная трехмерная постановка; б) совокупность двумерных и одномерной постановок. Сравнение показало, что расчет задачи в двумерной постановке выполняется быстрее. Результаты получены посредством совокупного анализа 10 вариантов расчета. Варьировались сеточные параметры по пространству и вольт-амперные характеристики грозового разряда. Шаг по времени составлял 1 мс. Такое разрешение по временной координате оправдано техническими характеристиками систем регистрации наземных грозовых разрядов [13]. Поскольку на практике в качестве вычислительной может использоваться различная техника, результаты приведены в относительном виде. За единицу взято время выполнения трехмерного алгоритма. Отно-

сительное время расчета задачи в двумерной постановке, учитывающей локализацию реактивной дрессини, равняется 0,04. Машинное время для численной реализации двумерной постановки в приближении “идеальной” трещины составило 0,035 относительного времени. Расчеты проводились на персональном компьютере с процессором Pentium-4 с технологией многопоточности и оперативной памятью 1 Гб. Расчеты по трехмерной постановке проводились с пониженным пространственным разрешением (иначе было недостаточно объема оперативной памяти).

Выводы

Представлена обобщенная постановка задачи о зажигании хвойного дерева наземным грозовым разрядом. В результате вычислительных экспериментов установлено, что повышение размерности задачи не позволяет выявить новых физических эффектов по сравнению с серией двумерных и одномерных постановок. Однако эта постановка обоб-

щает разработанные ранее постановки и позволяет рассматривать весь спектр факторов пожарной опасности в совокупности. Полученные результаты дают основание говорить о перспективности разработки модуля прогнозирования пожаров от гроз для системы мониторинга лесопожарных ситуаций [14]. Разработка таких систем позволит снизить негативные последствия лесных пожаров [15]. На практике следует ориентироваться на применение многопроцессорных вычислительных систем и распараллеливание вычислительных операций. Как известно, время получения прогноза должно быть меньше, чем период индукции катастрофы [16]. Именно использование параллельных вычислительных систем позволит получать прогнозную информацию в режиме, опережающем реальное время развития катастрофы. К сожалению, следует признать, что персональные компьютеры настоящего поколения не пригодны для пожарного мониторинга с использованием трехмерной постановки на крупных лесопокрытых территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Математическое моделирование зажигания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 41–45.
2. Барановский Н. В., Кузнецов Г. В. Влияние М-компонентов наземного грозового разряда на процесс зажигания дерева хвойной породы // Инженерная физика. — 2009. — № 5. — С. 47–51.
3. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Условия зажигания дерева хвойной породы наземным грозовым разрядом // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — № 3. — С. 29–35.
4. Барановский Н. В., Кузнецов Г. В. Математическое моделирование зажигания хвойного дерева наземным грозовым разрядом в приближении “идеальной” трещины в коре // Инженерная физика. — 2009. — № 7. — С. 51–55.
5. Soriano L. R., De Pablo F., Tomas C. Ten-year study of cloud-to-ground lightning activity in the Iberian Peninsula // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. — 2005. — Vol. 67, No. 16. — Р. 1632–1639.
6. Заболотный А. Е., Заболотная М. М., Заболотная Ю. А., Тимошин В. Н. Определение зон безопасного применения твердотопливных генераторов пожаротушащих аэрозолей // Вопросы специального машиностроения. — 1995. — Вып. 7–8. — С. 15–21.
7. Эзау К. Анатомия семенных растений. Кн. 1. — М. : Мир, 1980. — 218 с.
8. Яворский Б. М., Селезнев Ю. А. Справочное руководство по физике для поступающих в вузы и самообразования. — М. : Наука, 1984. — 383 с.
9. Гришин А. М. Математические модели лесных пожаров. — Томск : Изд-во Том. ун-та, 1981. — 277 с.
10. Гришин А. М., Шипулина О. В. Математическое моделирование распространения вершинных лесных пожаров в однородных лесных массивах и вдоль просек // Физика горения и взрыва. — 2002. — Т. 38, № 6. — С. 17–29.
11. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Аддитивные схемы для задач математической физики. — М. : Наука, 2001. — 320 с.
12. Campos L. Z. S., Saba M. M. F., Pinto O. Jr., Ballarotti M. G. Waves of continuing currents and properties of M-components in natural negative cloud-to-ground lightning from high-speed video observations // Atmospheric Research. — 2007. — Vol. 84, No. 9. — Р. 302–310.

13. Cummins K. L., Murphy M. J., Bardo E. A., Hiscox W. L., Pyle R. B., Pifer A. E. A combined TOA/MDF technology upgrade of the U. S. national lightning detection network // Journal of Geophysical Research. — 1998. — Vol. 103. — P. 9035–9044.
14. Барановский Н. В. Перспективы создания российской системы прогноза лесной пожарной опасности // Инженерная физика. — 2009. — № 8. — С. 39–49.
15. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. — 301 с.
16. Гришин А. М. Моделирование и прогноз катастроф. — Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002. — 122 с.

*Материал поступил в редакцию 17 мая 2010 г.
Электронный адрес авторов: firedanger@narod.ru.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую 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, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru



Л. Ю. Катаева
д-р физ.-мат. наук, профессор
Нижегородского государственного
технического университета,
г. Нижний Новгород, Россия



И. И. Ухова
магистр Нижегородского
государственного техни-
ческого университета,
г. Нижний Новгород, Россия



А. А. Куркин
д-р физ.-мат. наук, профессор
Нижегородского государственного
технического университета,
г. Нижний Новгород, Россия



Н. А. Катаева
магистр Нижегородского
государственного техни-
ческого университета,
г. Нижний Новгород, Россия

УДК 614.841:519.6:519.633.6:519.688

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕРХОВОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Целью данной работы было исследование программной реализации численной модели распространения лесного верхового пожара, разработка вариантов распараллеливания программной реализации, применение которых позволит ускорить процесс вычисления. Для этого были использованы: технология OpenMP, позволяющая использовать общие блоки памяти и в отличие от MPI избежать ее дублирования, а также временных затрат на пересыпку данных между процессами, и одна из самых передовых технологий параллельного программирования настоящего времени CUDA — программно-аппаратное решение, позволяющее использовать графическую карту для решения вычислительных задач общего назначения.

Ключевые слова: численная модель пожара; технологии параллельного программирования; OpenMP; CUDA; ма-
тематическое моделирование; лесной пожар.

Лесные верховые пожары являются одним из наиболее распространенных типов природных катастроф. При численном моделировании любой катастрофы важна не только правильность выбранной модели и параметров, но и скорость воспроизведения события. Это необходимо для повышения эффективности тушения и своевременного оповещения объектов, находящихся в опасной зоне, предотвращения возможного ущерба, объективной оценки последствий катастрофы. В задачах моделирования, решение которых сопряжено с быстрой расчетов, применяются методы параллельного программирования. Совокупность областей применения данной задачи сводится в основном к задачам компьютерной графики и теории катастроф. Проблема и в той и в другой области — это дискретность входных данных. Как следствие, к обеим областям предъявляются требования по универсальности, посему аналитическая модель не может быть применена. Другой неотъемлемой частью этих областей являются высокие требования по производительности. Для теории катастроф она определяется интервалом актуальности прогноза, для задач компь-

ютерной графики — необходимостью отображения в реальном времени.

Распространение лесного верхового пожара описывается системой дифференциальных уравнений. Исходная программа использует метод решения системы уравнений, предложенный профессором С. Патанкаром [1, 2], который основывается на очень эффективном алгоритме, известном как TDMA (TriDiagonal-Matrix Algorithm). Название TDMA происходит из построения матрицы коэффициентов дискретных аналогов: ненулевые элементы в ней располагаются только на трех смежных диагоналях. Этот алгоритм включает метод переменных направлений, который и был распараллелен. Метод переменных направлений состоит в том, что при решении системы уравнений сначала применяется прогонка для всех линий, параллельных оси x , а затем — для всех линий, параллельных осям y и z . Рассчитанные значения искомой функции вдоль линии используются в качестве оценочных значений при решении уравнений для соседней линии. Последовательность выбора обсчета вдоль осей может быть выбрана произвольно.

© Катаева Л. Ю., Ухова И. И., Куркин А. А., Катаева Н. А., 2010

Подобная система получается при линейном приближении решения задач, описываемых дифференциальными уравнениями. Следовательно, очень важно иметь в наличии алгоритмы эффективного решения трехдиагональных линейных систем. Для решения данной проблемы использовался известный метод параллельной редукции [6, 7]. Рассмотрим трехдиагональную систему $Ax = b$, где A — трехдиагональная матрица порядка $[n \times n]$. Элементы этой матрицы нулевые, за исключением тех, которые находятся на главной диагонали, непосредственно над ней и непосредственно под ней. Другими словами, A имеет элементы 0 для всех пар i, j при $|i - j| > 1$. Предложенный алгоритм основан на свертывании четных столбцов.

Идея заключается в следующем. Допустим, имеется система линейных алгебраических уравнений трехдиагонального вида $Ax = b$. Для каждого уравнения вхождение x_i с четным индексом заменяется на функцию от x_{i-1} и x_{i+1} с нечетными индексами. Новая линейная система будет также трехдиагональной, следовательно, мы можем применить такую же идею, и так далее до тех пор, пока не останется x_n . После нахождения решения для x_n мы решаем систему для $x_n/2$, затем — для $x_n/4, x_n/8$ и так далее. Имея значения искомых величин для четных индексов мы можем найти решения для остальных значений.

В качестве основной модели была выбрана модель верховых лесных пожаров с учетом турбулентности [3]. В используемой программной реализации метод переменных направлений организован в виде последовательных блоков, каждый из которых отвечает за направление по осям x, y, z и состоит из тройного вложенного цикла, внутри которого происходит вычисление векторов коэффициентов для метода прогонки и самой прогонки. В начале метода создаются два потока. Каждый из блоков распараллеливается по виткам цикла. В конце блока, т. е. после окончания обсчета одного направления, происходит синхронизация потоков, что связано с необходимостью использования значений функций из предыдущего блока в последующем [4].

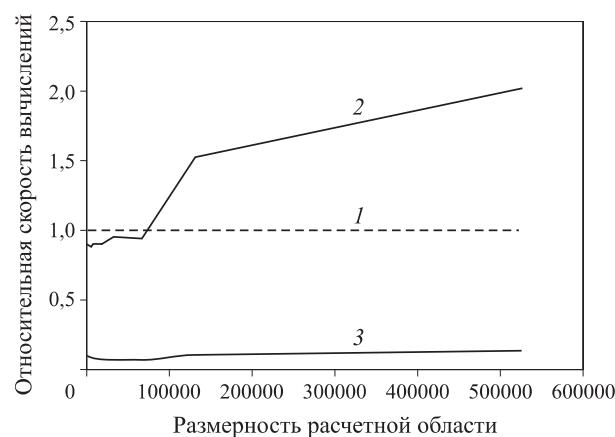
Используемые аппаратные средства: IBM PC-совместимый компьютер с процессором Intel Core 2 Duo 2,260 ГГц и ОЗУ с объемом памяти 2 Гб; SciPy — модуль, содержащий совокупность математических алгоритмов и функций. SciPy позволяет использовать интерактивную сессию интерпретатора языка Python так же, как это делается в таких системах, как MathLab, IDL, Octave, R-Lab и SciLab. Но в отличие от вышеприведенных аналогичных систем SciPy можно использовать для создания сложных и специализированных приложений. Научные приложения, написанные с использованием SciPy, выиг-

рывают за счет огромного количества модулей в различных нишах. Не нужно забывать, что все — от параллельного программирования до web и баз данных — доступно для программиста на языке Python.

Были получены удовлетворительные результаты работы параллельной программы. Для трехмерной матрицы из 18 тыс. элементов скорость обсчета временного шага для системы дифференциальных уравнений практически не меняется и лишь на матрицах более высокого порядка получено ускорение в 1,2 раза. Из этого можно сделать вывод, что повиточное распараллеливание метода переменных направлений с использованием только технологии OpenMP [4, 5] малоэффективно.

В ходе работы была исследована существующая программная реализация решения системы дифференциальных уравнений методом Патанкара. В результате исследования был реализован параллельный алгоритм с использованием технологии OpenMP. Проведены тесты, экспериментальная оценка ускорения, возникающего при использовании параллельного алгоритма.

Модификация представления данных в исходном коде программы, а именно замена векторного хранения данных на матричное, позволила использовать в методе переменных направлений матричную прогонку, которая в отличие от векторной параллелится более эффективно. Метод параллельной матричной прогонки реализован с использованием технологии CUDA с выигрышем по времени для последовательной реализации. В итоге, совместное использование технологий параллельного программирования OpenMP и CUDA в исходной программе позволит сократить время обсчета одной итерации системы уравнений в несколько раз. На рисунке показана зависимость относительной скорости вычислений (за эталон выбран метод TDMA CPU) для



Зависимость относительной скорости вычислений от размерности расчетной области для различных реализаций решения поставленной задачи: 1 — TDMA CPU; 2 — Parallel CPU; 3 — Parallel GPU

различных реализаций от размерности расчетной области. Из рисунка видно существенное ускорение для Parallel CPU.

На примере реализации задачи о распространении верхового лесного пожара, к которой предъявляются высокие требования по производительности и интерактивности, было показано, что для трехдиагонального представления исходной системы уравнений оптимальной является кодогенерация, пусть даже на стороне обработки логики не обеспечивающих высокой производительности, но логически более насыщенных технологий. Следующим этапом стала реализация совокупности минимального базиса функциональных языков, таких как функция мэпирования, сокращения и суммирова-

ния, для создания логически насыщенного функционала с OpenCL backend. Все описанное выше реализовано на языке программирования Python, который синтаксически может считаться функциональным и насыщенным с точки зрения пользовательской базы и, как следствие, привязанных технологий.

Представленные результаты поисковой научно-исследовательской работы получены в рамках реализации мероприятия 1.2.1 “Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук” ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патанкар С. В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах : пер. с англ. Е. В. Калибана : под ред. Г. Г. Янькова. — М. : Изд-во МЭИ, 2003. — 312 с. : ил. ISBN 5-7046-0898-1.
2. Катаева Л. Ю., Романов А. В. Метод Патанкера и возможности его оптимизации // Наука и техника транспорта. — 2009. — № 3. — С. 88–97.
3. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. — Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1992. — 407 с.
4. Катаева Л. Ю. Применение параллельных вычислений к решению задачи прогноза пожарной опасности // Наука и техника транспорта. — 2007. — № 4. — С. 47–54.
5. Левин М. П. Параллельное программирование с использованием OpenMP. — М. : Изд-во Бином; Лаборатория знаний, 2008. — 120 с. ISBN 978-5-94774-857-4.
6. Stone H. An efficient parallel algorithm for the solution of a tridiagonal linear system of equations // Journal of ACM. — 1973. — No. 20. — P. 27–38.
7. Dehne Fabri A., Rau-Chaplin. A Scalable Parallel Geometric Algorithms for Coarse Grained Multicomputers // In : Proc. ACM 9th Annual Computational Geometry, 1993. — P. 298–307.

Материал поступил в редакцию 22 июня 2010 г.

Электронные адреса авторов: kataevel@rambler.ru; ukhova.irina@mail.ru.



Д. Г. Сенько
заместитель начальника
НИИ ПБиЧС МЧС Беларусь,
г. Минск, Республика Беларусь



И. П. Полхлебов
главный специалист отдела нормирования
и стандартизации НИИ ПБиЧС МЧС
Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь



В. В. Мельничук
канд. техн. наук, доцент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР), г. Минск, Республика Беларусь

УДК 614.841.343:614.844.2

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ПОЖАРА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ, СВЯЗАННЫХ С НАГРЕВОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДО КРИТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР (СУШКА)

Рассмотрены проблемные вопросы обеспечения противопожарной защиты зерноочистительных сушильных комплексов шахтного типа; представлены результаты исследований и принципиальные решения по созданию системы, позволяющей на ранней стадии обнаружить и ликвидировать загорание без остановки технологического оборудования.

Ключевые слова: зерносушильный комплекс; пожар; пожарный извещатель; противопожарная защита; технологическая среда.

В настоящее время в Республике Беларусь и за рубежом отсутствуют устройства, способные обеспечить достоверную и своевременную идентификацию процесса возгорания (пожара) сырья в технологических процессах, связанных с нагревом технологической среды до критических температур. В большинстве случаев обнаружение пожара происходит визуально с последующей остановкой технологического оборудования, разгрузкой сырья и тушением без применения автоматических средств.

Специфика технологических процессов, связанных с нагревом технологической среды до критических температур (сушка), значительно ограничивает применение большинства традиционных методов контроля опасных факторов пожара (ОФП). Так, определение возгорания по задымленности не может быть использовано в силу большой концентрации пыли в процессе сушки, по открытому пламени — в силу специфики возгорания, которое носит тлеющий характер, по состоянию газовой среды — из-за негерметичности конструкции, значительных по массе и скорости потоков сырья и воздуха.

Развитие сельскохозяйственной отрасли предполагает наращивание производственных мощностей предприятий и, соответственно, значительные материальные затраты на их производство, приобретение и т. п. Пожары на объектах хранения и переработки зерна приводят к уничтожению дорогостоящего оборудования, больших объемов собранного урожая и задержке в его переработке.

Анализ пожаров в зерносушильных комплексах выявил несколько причин их возникновения, основными из которых являются:

- превышение температурного режима при сушке зерна вследствие несовершенства конструкции сушилок;
- попадание в зону сушки зерна источников зажигания, образующихся при работе теплогенератора.

Исследование пожара, произшедшего в августе 2009 г. во время сушки рапса в зерносушильном комплексе КЗСВ-30Г-Р, принадлежащем СПК им. Клецкова (г. Ошмяны), позволило установить наиболее вероятный источник возгорания рапса в камере сушки, а также обстоятельства, сопутствовавшие развитию пожара (рис. 1).

© Сенько Д. Г., Полхлебов И. П., Мельничук В. В., 2010



Рис. 1. Пожар в зерносушильном комплексе КЗСВ-30Г-Р СПК им. Клецкова в г. Ошмяны (04.08.2009)

Огнем была уничтожена шахта зерносушилки, повреждено оборудование зерносушильного комплекса. Размер причиненного материального ущерба превысил 100 тыс. долл. США.

Практика изучения пожаров зерносушилок, а также исследования свойств зерна рапса показывают, что он имеет стабильные термические свойства и при температурах до 100 °C при влажности более 6 % его воспламенение без постороннего источника зажигания практически исключено. Однако при уменьшении влажности ниже 6 % происходит пересушивание зерен, и они начинают растрескиваться с образованием мелких горючих частиц и пыли, создавая при этом пирофорную массу, которая способна возгораться от малокалорийного источника зажигания.

Теплогенераторы сушилок не исключают попадания в теплообменник сгораемых материалов мелкодисперской фазы (пыли, частиц соломы, лузги и т. п.), где возможно их воспламенение с последующим переносом в зону сушки. Аналогичная ситуация сложилась и в рассматриваемом случае. Характер распространения пожара указывал на возникновение первоначального горения на уровне глухой горизонтальной перегородки, которая является своеобразным “пылесборником”. При попадании на нее искр возгорание пыли неминуемо.

При рассмотрении подобных пожаров необходимо учитывать тот факт, что первоначально горение проходит в виде тления, а далее при достаточной аккумуляции тепла переходит в пламенное горение.

Применяя современные системы автоматики, а также новаторские конструкторские решения, можно значительно снизить риски, связанные с вероятностью возникновения пожаров в зоне сушки зерна

зерносушильных комплексов, а также, что немаловажно, произвести ликвидацию очага возгорания в начальной стадии, не останавливая технологического процесса.

В ходе НИОКР по исследованию пожарной опасности зерноочистительно-сушильных комплексов, обоснованию путей ее снижения, разработке средств противопожарной защиты зерноочистительных сушильных комплексов с зерносушилками шахтного типа (ЗСК-15Ш, ЗСК-20Ш, ЗСК-30Ш, ЗСК-40Ш) и колонкового типа (ЗСК-15, ЗСК-20, ЗСК-30) (далее — НИОКР) найдено комплексное решение противопожарной защиты зерносушилок шахтного типа, которое состоит из следующих компонентов:

- устройства, ограничивающего перенос источников зажигания (завихритель);
- устройства контроля и управления температурным режимом, позволяющие осуществлять постоянный мониторинг теплового поля в период сушки зерна, определять аномальные отклонения от технологического режима и выдавать команды на управление системой пожаротушения и ЗСК в целом (автоматическое устройство термометрии);
- системы пожаротушения, подающей огнетушащее вещество непосредственно в зону возникновения аномального теплового поля, без остановки технологического процесса сушки.

Исследования показали, что чем больше препятствий на пути искр и расстояние от места их возникновения (теплогенератора) до зоны горючей загрузки, тем ниже риск переноса искрой энергии, достаточной для воспламенения обрабатываемого сырья.

Конструкция завихрителя хотя и проста, но позволяет эффективно бороться с искрами при их возникновении в теплоносителе. Ее испытания подтвердили теоретические расчеты. Установленный завихритель позволил задержать до 50 % занесенных вместе с теплоносителем потенциальных источников зажигания (измельченные пенопласт, бумага, опилки и солома). Кроме того, трение, возникающее под действием центробежной силы между прошедшими через завихритель горючими материалами и стенками теплогенератора, также снижает их энергию зажигания.

На практике встречаются случаи, когда возгорание сырья происходит без участия искр. В частности, при зависании влажного сырья в отдельных зонах камеры сушки может произойти его самовозгорание.

Особенности технологических процессов зерносушильного комплекса значительно ограничивают применение большинства традиционных мето-

дов контроля ОФП в силу перечисленных выше причин.

Наиболее приемлемым способом определения ОФП для данных задач следует признать метод, основанный на анализе тепловых проявлений пожара. Однако применение классических тепловых извещателей (пороговых, дифференциальных) нецелесообразно, поскольку:

- при контроле пороговыми извещателями обнаружение пожара характеризуется большой инерционностью из-за значительных потоков зерна и воздуха. К моменту определения температуры возгорание может принять катастрофический характер, что значительно снизит эффективность последующего тушения и увеличит материальные потери;
- при применении дифференциальных температурных извещателей возрастает риск ложных срабатываний, поскольку скорость нарастания температуры в момент включения теплогенераторов достигает значительной величины и, как правило, превышает порог срабатывания извещателя.

Кроме того, и те и другие извещатели не предназначены для работы в условиях повышенных температур (60–130 °C).

В настоящее время в Беларуси и за рубежом нет специализированных автоматических систем пожаротушения зерносушильных комплексов. В большинстве случаев обнаружение пожара происходит визуально, а тушение зерна производится только после остановки и разгрузки комплекса.

Решение проблемы возможно при использовании нетрадиционного метода контроля ОФП, обеспечивающего их определение на ранних стадиях с высокой достоверностью. В основу метода положены прогнозные соотношения, позволяющие по начальным значениям температуры предсказать тенденцию ее развития и, соответственно, получить предполагаемое значение в интересующей точке интервала времени. Прогнозирующие соотношения основаны на формировании математической модели развития температуры с течением времени.

В основу моделирования положены нелинейные корреляционные зависимости общего вида:

$$Y = a_0 + a_1x + a_1x^2 + a_2x^3 + \dots,$$

где Y — пороговое значение критической температуры, связанное с вероятностью возникновения пожара;

$a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ — коэффициенты модели, определяемые по результатам замеров;

x — температурные значения в точках контроля.

На основании предварительно полученных значений характеристик тепловых полей определяются

коэффициенты зависимости и формируется модель. Затем параметры уточняются, и корректируется вид модели в зависимости от конкретного теплового режима. Измерение температуры производится стандартными методами с использованием терморезисторов.

К преимуществам метода относится возможность измерения действующей температуры и формирование температурных полей внутри установки, что используется в технологическом процессе для оптимизации управления зерносушильным комплексом.

В качестве дополнительной меры, направленной на снижение времени обнаружения и прогнозирования аномальных температур и повышение достоверности результатов, используется контроль температуры на выходе теплоносителя, а также прогноз динамики ее изменения. В данном случае прогноз температуры в предполагаемой зоне возгорания корректируется в зависимости от прогноза температуры на выходе теплоносителя (рис. 2).

Интегрированная в технологический процесс система термометрии, основанная на методе теплового прогноза, позволяет проводить мониторинг состояния температурного режима в камере сушки,

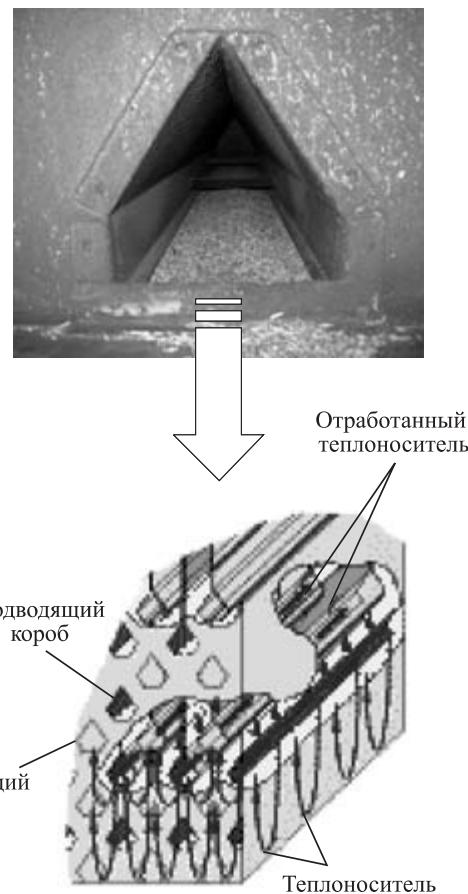


Рис. 2. Принципиальная схема движения теплоносителя

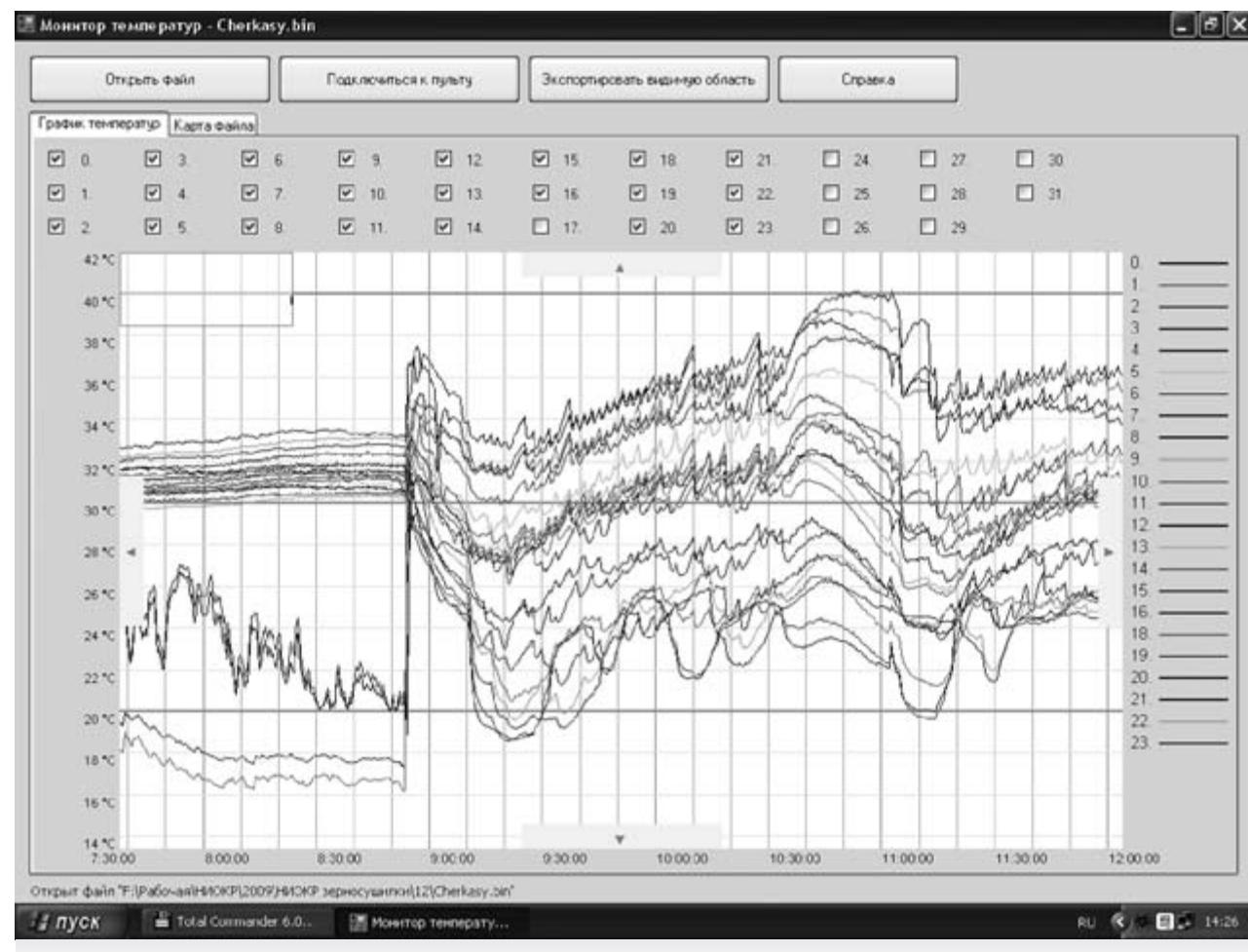


Рис. 3. Мониторинг теплового поля ЗСК

прогнозировать повышение температуры и идентифицировать начальную стадию пожара, сопоставив изменение контролируемых параметров с дифференциальной запрограммированной кривой реального пожара.

Экспериментальная система контроля состояния среды прошла полевые испытания в шахте действующей зерносушилки в период сбора урожая 2009 г. При снятии показаний датчиков были получены сведения о температурных параметрах сушки за весь период с момента ее установки. На рис. 3 приведен образец графического отображения температуры в шахте зерносушилки.

Возможности программного сопровождения системы контроля позволяют:

вложить на нее функции всей автоматики зерносушильного комплекса, в том числе регулировку скорости подачи зерна, температуры теплоносителя, запуска системы пожаротушения;

обеспечить мониторинг всех температурных параметров работы зерносушильного комплекса;

минимизировать влияние человеческого фактора на процесс сушки.

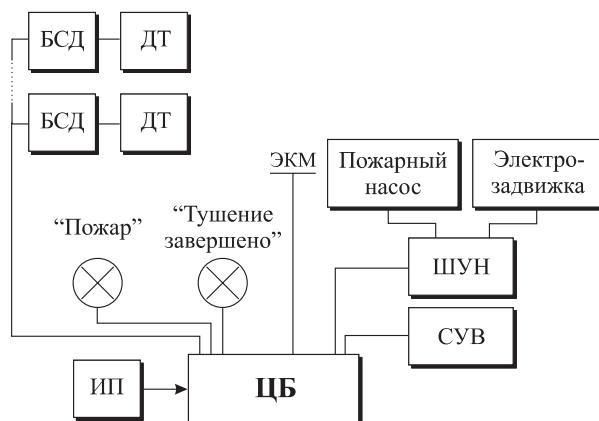


Рис. 4. Принципиальная схема СПЗ

Опытная апробация метода показала его высокую эффективность при низкой аппаратной стоимости. В процессе работы СПЗ, основанной на данном методе (рис. 4), практически исключен риск ложных срабатываний, повышена достоверность и сокращено время обнаружения возгорания.

В рамках НИОКР разработан опытный образец устройства комплексной защиты зерноочистительно-

сушильного оборудования УКЗСО-1, позволяющего на ранней стадии обнаружить аномальные тепловые проявления, связанные с загоранием зерна, подать огнетушащее вещество (воду) непосредственно в зону сушки, причем не во всю, а в конкретную зону аномального теплового поля.

В период сбора урожая 2010 г. проведена опытная эксплуатация УКЗСО-1. В настоящее время готовятся мероприятия по его дальнейшему совершенствованию и нормативному регулированию применения в целях повышения безопасности и эффективности процесса сушки зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ППБ РБ 2.01–94. Правила пожарной безопасности Республики Беларусь для предприятий переработки и хранения зерна : утв. МЧС РБ 30 декабря 1994 г. : ввод. в действие 1 июля 1995 г. [электронный ресурс]. URL : <http://www.levonevski.net/pravo/razdelb/text966/index.html> (дата обращения: 01.06.2010).*
2. *ГОСТ 12.1.004–91*. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования (с изм. от 21 октября 1993 г.). — Введ. 1992–07–01. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2002.*
3. *Каминский В. Д., Бабич М. Б. Новые виды технологического оборудования и технологии для их реализации // Хранение и переработка зерна. — 2001. — № 1.*
4. *Трисвятский Л. А., Мельник Б. Е. Технология приема, обработки, хранения зерна и продуктов его переработки. — М. : Колос, 1983. — 351 с.*
5. *Баум А. Е. Сушка зерна. — М. : Колос, 1983. — 223 с.*
6. *Самочетов В. Ф. Зерносушение : учебник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Колос, 1970. — 287 с.*
7. *Жидко В. И. Зерносушение и зерносушилки : учеб. пособие для вузов. — М. : Колос, 1982. — 239 с.*

*Материал поступил в редакцию 8 июня 2010 г.
Электронные адреса авторов: niipb@anitex.by; avangardsm@tut.by.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский

КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2010. — 118 с.



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

Пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям “Пожарная безопасность”, “Безопасность технологических процессов и производств”, “Безопасность жизнедеятельности в техносфере”, студентов строительных вузов и факультетов, обучающихся по специальности “Промышленное и гражданское строительство”, сотрудников научно-исследовательских, проектных организаций и нормативно-технических служб, ответственных за обеспечение пожарной безопасности.

121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru



И. П. Денисов

начальник Управления организации пожаротушения и применения сил ГУ МЧС России по г. Москве, г. Москва, Россия



А. В. Подгрушный

канд. техн. наук, доцент, начальник Отдела организации пожаротушения и ГДЗС ГУ МО "Мособлпожспас", Люберецкий район МО, п. Марусино, Россия



А. Н. Денисов

канд. техн. наук, доцент, доцент Академии ГПС МЧС России, г. Москва, Россия

УДК 614.842:519.8

УПРАВЛЕНИЕ ПОЖАРНЫМИ И СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕРОПРИЯТИЙ С МАССОВЫМ СОСРЕДОТОЧЕНИЕМ ЛЮДЕЙ

Рассмотрены обоснование пожарных рисков и управление ими при проведении мероприятий различного характера с массовым сосредоточением людей. Приведен алгоритм расчета необходимых сил и средств при проведении массовых мероприятий без снижения готовности дежурных сил на территории гарнизона пожарной охраны. Рассмотрен лозунг МЧС России "Предотвращение, спасение, помощь" как управленческая деятельность, направленная на обеспечение безопасности граждан при их массовом сосредоточении на проводимых мероприятиях.

Ключевые слова: алгоритм; массовые мероприятия; пожар; расчет; риск; тушение; управление.

По свидетельству очевидцев трагедии, произошедшей в мае 1896 г. при проведении мероприятий с массовым сосредоточением людей в г. Москве на Ходынском поле во время церемонии коронации императора Николая II, "...изуродованные, посиневшие, в платье разорванном и промокшем насеквоздь, они были ужасны. Стоны и причитания родственников, разыскивавших своих, не поддавались описанию... А тем временем все подъезжали военные и пожарные фуры и отвозили десятками трупы в город. Приемные покой и больницы переполнились ранеными. Часовни при полицейских домах и больницах и сараи — трупами. Весь день шла уборка" [1].

"...Уже утром все пожарные Москвы занимались ликвидацией кошмарных последствий: обоз за обозом вывозил с поля тела убитых и раненых. От вида страшного зрелища цепенели сердца видавших виды военных, врачей и пожарных. Здесь были и скальпированные головы, и торчавшие наружу кости, и раздавленные грудные клетки, и валявшиеся в пыли недоношенные младенцы..." [2].

Во время коронации Николая II погибли 1360 человек и еще несколько сот получилиувечья.

Число погибших от пожара, возникшего при проведении мероприятия с массовым сосредоточением людей, в г. Перми к моменту написания данной статьи достигло 156 человек.

Казалось бы, разное время, разные обстоятельства происшествий, но есть один, самый главный и страшный, объединяющий их фактор — человеческие жертвы.

Зададим себе вопрос: "А возможно ли избежать человеческих жертв при проведении массовых мероприятий? В частности, в том же ночном клубе "Хромая Лошадь"?" Не будем касаться темы осуществления функций Государственного пожарного надзора и пожарной профилактики в период подготовки и проведения мероприятий с массовым сосредоточением людей. Это отдельная тема, требующая глубокого изучения, систематизации накопленного опыта и знаний. Но очевидно, что условия, в которых несут службу пожарные, спасательные подразделения и сотрудники Государственного пожарного надзора при проведении массовых мероприятий, могут быть охарактеризованы как особые, требующие дополнительного правового регулирования.

© Денисов И. П., Подгрушный А. В., Денисов А. Н., 2010

В соответствии с Конституцией Российской Федерации граждане России имеют право собираться мирно, без оружия, проводить собрания, митинги и демонстрации, шествия и пикетирования [3]. Вместе с тем гражданам должна гарантироваться личная и общественная безопасность.

В нашей стране система обеспечения безопасности граждан регулируется Федеральным законом “О безопасности” [4]. В соответствии со ст. 16 Федерального закона “О пожарной безопасности” [5] при обеспечении пожарной безопасности и оперативном реагировании на возможные пожары и ЧС в период проведения массовых мероприятий федерального уровня органы МЧС России выступают в качестве гаранта реализации гражданами и общественными организациями их конституционных прав и свобод [4, 5].

Подразделениями Главного управления МЧС России по г. Москве и Управления по обеспечению мероприятий гражданской защиты г. Москвы накоплен определенный опыт организации деятельности служб и подразделений по контролю за обеспечением пожарной безопасности, оперативному реагированию на возможные пожары и ЧС в период подготовки и проведения массовых мероприятий различного уровня. Каждое из проводимых массовых мероприятий по-своему уникально, требует нестандартных управленческих решений в области планирования, подготовки личного состава, организации несения службы, осуществления функций Государственного пожарного надзора.

В своей статье авторы предполагают поделиться существующими наработками и ввиду отсутствия нормативного и научного сопровождения данного направления деятельности пожарной охраны призвать коллег, занимающихся вопросами безопасности массовых мероприятий, к обмену опытом с целью применения его в практической деятельности Главного управления МЧС России по г. Москве.

Лозунг МЧС России “Предотвращение, спасение, помошь” предлагается рассматривать как управленческую деятельность, направленную на обеспечение безопасности граждан при их массовом сосредоточении на проводимых мероприятиях.

Предотвращение

Выделим основные риски, возникающие при проведении массовых мероприятий (табл. 1).

Наиболее часто повторяющимися рисками являются пожар и террористический акт.

При наличии достоверных статистических данных математическими методами можно определить вероятность возникновения пожара или совершения террористического акта. В ходе подготовки управ-

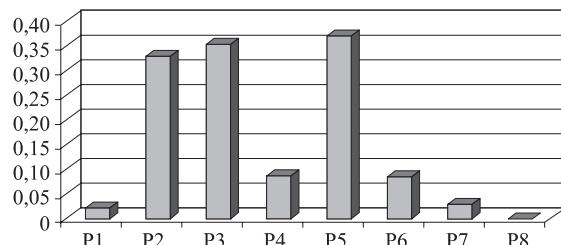


Рис. 1. Распределение рисков по видам происшествий:
P1 — вероятность возникновения пожара с повышенным рангом вызова на территории г. Москвы в выходные и праздничные дни; P2 — вероятность возникновения пожара в период празднования Дня города и Дня знаний; P3 — вероятность возникновения пожара в период празднования Нового года и Рождества Христова; P4 — вероятность возникновения пожара в период празднования Дня защитника Отечества 23 февраля; P5 — вероятность возникновения пожара в период празднования майских праздников; P6 — вероятность возникновения пожара в период празднования Дня России; P7 — вероятность совершения террористического акта на территории России в выходные и праздничные дни; P8 — вероятность совершения террористического акта на территории г. Москвы в выходные и праздничные дни

ленческих решений по организации специальных нарядов в г. Москве были просчитаны вероятности возникновения пожаров и терактов в выходные и праздничные дни (рис. 1), дни проведения мероприятий с массовым сосредоточением людей.

Наиболее соответствующим функциям и задачам МЧС при подготовке к проведению мероприятия с массовым сосредоточением людей является снижение риска возникновения пожара на задействованном объекте и подготовка подразделений к действиям в условиях угрозы совершения террористического акта.

Общеизвестным фактором в области обеспечения безопасности является задача определения такого набора решений, которые изменили бы параметры объекта, организации, предприятия, чтобы риск (интегральная оценка риска) был не больше заданного (приемлемого), а стоимость всех мероприятий по безопасности была минимальной. Рассмотрим представленную на рис. 2 схему последовательности этапов обеспечения безопасности объекта.

Такое соотношение достигается за счет оперативности прибытия пожарных и спасательных подразделений к месту возможного пожара (ЧС) и их высокой готовности к действиям по назначению. Соответственно, управленческие решения по организации многофункционального специального наряда и деятельность по повышению готовности пожарно-спасательных подразделений, задействованных в обеспечении безопасности, верны.

Таблица 1. Основные риски, возникающие при проведении массовых мероприятий

№ п/п	Вид массовых мероприятий	Чрезвычайные ситуации	
		наиболее вероятные	менее вероятные, но потенциально возможные
1. Общественно-политические			
1.1	Пикеты	Поджоги, акты самосожжения, техногенные и бытовые пожары	Теракты с применением взрывных устройств, активных химически опасных веществ
1.2	Шествия, демонстрации	Поджоги, акты самосожжения, техногенные и бытовые пожары, паника, давка	Массовые пожары, теракты с применением взрывных устройств, активных химически опасных веществ
1.3	Митинги	То же	То же, захват заложников
1.4	Военные парады	Аварии техники с последующим возникновением пожара, техногенные и бытовые пожары	Теракты с применением взрывных устройств, активных химически опасных веществ, захват заложников
1.5	Собрания, съезды, конгрессы, симпозиумы	Пожары, аварии систем жизнеобеспечения, обрушение конструкций	Угрозы взрывов, теракты
1.6	Выборы, референдумы	То же	То же
2. Культурно-зрелищные			
2.1	Рок-концерты, уличные карнавальные шествия	Групповые нарушения общественного порядка, драки, пожары, паника, давка	Угрозы взрывов, обрушение конструкций
2.2	Дискотеки, вечера отдыха	Групповые нарушения общественного порядка, пожары	Обрушение конструкций
2.3	Обычные концерты, спектакли, киносеансы	Пожары, аварии систем жизнеобеспечения, разрушение конструкций	Угрозы взрывов, теракты
2.4	Выставки уникальных, ценных экспонатов	Пожары, аварии, паника, давка	То же
3. Спортивные			
3.1	Футбольные матчи на открытых стадионах	Поджоги, обвалы конструкций, трибун	Массовые беспорядки, поджоги, захват заложников, блокирование объектов и транспортных путей
3.2	Соревнования в закрытых помещениях	Групповые нарушения общественного порядка, драки, пожары, паника, давка, разрушение конструкций	Угрозы взрывов, теракты
3.3	Соревнования (показы) по техническим видам спорта	То же, катастрофы	Теракты, захват заложников
4. Религиозные			
4.1	Церковные праздники, шествия, прибытие и выступления высших духовных лиц	Давка, блокирование транспортных магистралей и объектов, пожары	Теракты, обрушение конструкций, групповые нарушения общественного порядка, массовые отравления
5. Общественно-политические			
5.1	Визиты высокопоставленных государственных и общественных деятелей, посещение ими объектов	Блокирование дорог и объектов, групповые нарушения общественного порядка, ДТП, пожары	Теракты и угрозы терактов
5.2	Крупные судебные процессы	Блокирование дорог, зданий государственных органов, поджоги	Угрозы терактов
5.3	Специальные проезды руководителей государства, траурные процесии	Блокирование автодорог, ДТП, давка, акты самосожжения	То же
6. Комплексные			
6.1	День города, народные гуляния, профессиональные праздники	Пожары, аварии, массовые отравления, групповые нарушения общественного порядка, ДТП	Угрозы терактов, массовые беспорядки, сопровождающиеся поджогами, эпидемии



Рис. 2. Последовательность этапов обеспечения безопасности объекта

Спасение

Для обеспечения мероприятий федерального уровня с массовым сосредоточением людей возникает задача определения необходимого количества и состава сил и средств, причем без снижения уровня готовности гарнизона пожарной охраны в целом.

Предлагаемый подход инженерного обоснования принятия управленческого решения по обеспечению пожарной безопасности при проведении мероприятий с массовым сосредоточением людей позволяет отчасти решить эту проблему. Принципиальная схема оценки ситуации по обеспечению пожаробезопасных условий проведения массового мероприятия представлена на рис. 3.

Расчетное обоснование сил и средств подразделений пожарной охраны для действий в период проведения массовых мероприятий рекомендуется выполнять следующими способами:

1) расчетом потребности сил и средств на основе накопленного опыта с учетом экспертной оценки складывающейся оперативной обстановки на ответственной территории;

2) расчетом сил и средств на основе изучения объекта в оперативно-тактическом отношении и экспертной оценки возможных рисков (мониторинг, оценка и прогнозирование обстановки);

3) расчетом сил и средств на основе организационно-распорядительных документов предварительного планирования действий на конкретный объект, утвержденных в установленном порядке.

В ходе расчетов необходимо учитывать:

- оперативную обстановку в зоне ответственности (административном округе, населенном пункте) в местах проведения массовых мероприятий;
- объем и характер проводимых мероприятий, интерес, проявляемый к нему со стороны населения (особенно молодежи);
- наличие или отсутствие факторов, требующих запрещения проведения массовых мероприятий;
- характер объектов проведения мероприятий, их конструктивные особенности;
- режим и организацию движения в местах проведения мероприятий;
- особенности территории, прилегающей к местам (объектам) проведения мероприятий, т. е. наличие подъездов, стоянок автотранспорта, остановок общественного транспорта, площадей, строений, жилых массивов, парков и т. п.);
- время года, метеоусловия и время проведения мероприятий;
- количество участников и зрителей, их возрастной состав;
- практический опыт лиц начальствующего состава, выделенных в качестве руководителей зон, секторов, участков, резервов;
- потребность в средствах проводной, телевизионной, телеграфной и радиосвязи;
- другие вопросы, отражающие специфику обстановки, складывающейся на период проведения мероприятия с массовым сосредоточением людей.

Цель расчетов — создание оптимальной группировки сил и средств, необходимой для выполнения задач, возникающих в процессе несения службы в составе специальных нарядов при проведении массовых мероприятий, без снижения готовности

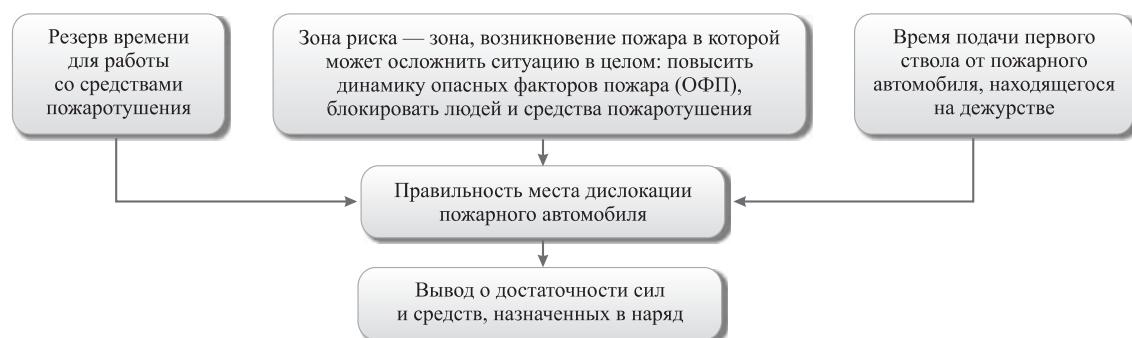


Рис. 3. Принципиальная схема оценки ситуации по обеспечению пожаробезопасных условий проведения массового мероприятия

Таблица 2. Критерии расчета личного состава для выполнения функции пожарного дозора

Группа сложности объекта, организации	Критерии отнесения объекта, организации к соответствующей группе сложности	Периодичность контроля, ч	Рекомендуемая площадь участка (сектора) на 1 дозорного, м ²
1	Объекты и организации, более 50 % площади застройки которых занимают здания и помещения, отнесенные по взрывопожароопасной и пожарной опасности к категориям А и Б, а также объекты, имеющие открытые технологические установки и сооружения, где в процессе производства обращаются легковоспламеняющиеся и горючие жидкости (газы); объекты использования атомной энергии	2	30 000
2	Объекты и организации, менее 50 % площади застройки которых занимают здания и помещения, отнесенные по взрывопожароопасной и пожарной опасности к категориям А и Б, а также объекты, имеющие открытые технологические установки и сооружения, где в процессе производства обращаются легковоспламеняющиеся и горючие жидкости (газы); объекты энергетики; открытые площадки для хранения и переработки сгораемых материалов, объекты культуры, здравоохранения, социально бытовой сферы; научные учреждения, гостиницы, административные здания	4	50 000
3	Прочие объекты	6	70 000

дежурных сил на территории всего гарнизона пожарной охраны.

Для расчета личного состава с целью выполнения функций пожарных дозоров рекомендуется использовать табл. 2.

В зависимости от политической значимости проводимого мероприятия, количества и состава участников, оперативно-тактической характеристики объекта и по решению руководства ГУ МЧС России по г. Москве количество личного состава, выполняющего функции противопожарных дозоров, может быть увеличено.

Алгоритм расчета необходимых сил и средств на основе изучения объекта в оперативно-тактическом отношении (моделирование обстановки)

На основе экспертизы и изучения объекта в оперативно-тактическом отношении необходимо определить, где в случае возникновения пожара сложится наиболее сложная оперативная обстановка.

1. Определяем время, в течение которого дозорные смогут без угрозы для жизни и здоровья осуществлять действия по тушению пожара (загорания) в определенном помещении после введения ими первичных средств пожаротушения. Эвакуация людей, характеризуемая расчетным временем эвакуации τ_p , должна быть завершена до наступления минимального критического значения одного из видов опасных факторов пожара — необходимого времени эвакуации τ_{hb} . Кроме этого, необходимо учитывать время, затраченное на приведение в действие средств пожаротушения, если пожар в помещении не может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми. Необходимо также учи-

тывать время обнаружения пожара, которое принимается равным 0,5 мин. Резерв времени для работы с первичными средствами пожаротушения τ_{pb} (мин) определяется по формуле

$$\tau_{pb} = \tau_{hb} - (\tau_p + 1).$$

2. Определяем зоны риска.

Зона риска — зона, возникновение пожара в которой может осложнить ситуацию в целом: повысить динамику опасных факторов пожара (ОФП), блокировать людей и средства пожаротушения. Площадь зоны риска можно определить по формуле расчета площади пожара. При этом рассматривается круговая форма распространения пожара, так как в этом случае динамика нарастания площади пожара будет максимальной и, как следствие, площадь зоны риска S_n (m^2) также принимает максимальное значение:

$$S_n = \pi l_\phi^2,$$

где l_ϕ — расстояние, пройденное фронтом горения за время развития пожара, м.

Расстояние, пройденное фронтом горения за время свободного развития пожара, определяется по формуле

$$l_\phi = V_l \tau,$$

где V_l — линейная скорость распространения горения, м/мин;

τ — время, затраченное дозорными на приведение в действие средств пожаротушения, мин; $\tau = 1$ мин. Если пожар в помещении не может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, то значение τ необходимо принимать равным 1,5 мин.

Определяем время подачи первого ствола $\tau_{\text{ств}}^1$ (мин) от пожарного автомобиля, находящегося на дежурстве:

$$\tau_{\text{ств}}^1 = \tau_{\text{д.с}} + \tau_{\text{сл}} + \tau_{\text{разв}},$$

где $\tau_{\text{д.с}}$ — время с момента возникновения пожара до сообщения о нем в штаб наряда; принимаем $\tau_{\text{д.с}} = 1,5$ мин;

$\tau_{\text{сл}}$ — время следования отделения пожарного наряда от места расположения на мероприятии к месту пожара (должно стремиться к минимуму), мин;

$\tau_{\text{разв}}$ — время развертывания пожарного подразделения для приведения в готовность к применению, мин; принимается в соответствии с нормативами по пожарно-строевой подготовке в зависимости от расстояния до водоисточников.

3. Сравниваем резерв времени для работы со средствами пожаротушения $\tau_{\text{пр}}$ и время подачи первого ствола $\tau_{\text{ств}}^1$. При выполнении условия $\tau_{\text{пр}} \geq \tau_{\text{ств}}^1$ делаем вывод, что место дислокации пожарного автомобиля, находящегося в специальном наряде, выбрано верно.

4. Определяем достаточность сил и средств, находящихся в наряде, при возникновении пожара.

Требуемый расход огнетушащих веществ для локализации пожара $Q_{\text{тр}}^{\text{лок}}$ (л/с) определяем по формуле

$$Q_{\text{тр}}^{\text{лок}} = S_{\text{лок}} I_{\text{норм}},$$

где $S_{\text{лок}}$ — площадь локализации (площадь тушения) на момент введения ствола от пожарного автомобиля, м²;

$I_{\text{норм}}$ — нормативная интенсивность подачи огнетушащих веществ, л/(м²·с); определяется по нормативной и справочной литературе.

Площадь локализации круговой формы пожара на момент введения ствола от пожарного автомобиля на тушение можно определить по формулам:

- при $l_{\phi} \leq h_{\text{тущ}}$

$$S_{\text{лок}} = S_n = \pi l_{\phi}^2;$$

- при $l_{\phi} > h_{\text{тущ}}$

$$S_{\text{лок}} = \pi l_{\phi}^2 - \pi(l_{\phi} - 5)^2,$$

где $h_{\text{тущ}}$ — глубина тушения ручным стволом, м.

Определяем фактический расход Q_{ϕ} огнетушащих веществ, который может обеспечить пожарное отделение (расчет) исходя из тактических возможностей (учитывается численность пожарного расчета, необходимость проведения других работ и т. д.). Достигжение условия $Q_{\phi} > Q_{\text{тр}}$ означает, что средств пожаротушения достаточно для предотвращения развития пожара.

5. Наконец, делаем вывод, предварительно задавшись вопросом: сможет ли первое прибывшее



Рис. 4. Комплект снаряжения сотрудника ГПС, выполняющего функции дозорного: 1 — сертифицированный аэрозольный огнетушитель (предназначенный для тушения классов пожаров А, В, С); 2 — кошма; 3 — хлопчатобумажные перчатки; 4 — фонарь электрический индивидуальный; 5 — поясная сумка

подразделение обеспечить требуемый расход огнетушащих веществ на тушение и одновременно выполнить другие необходимые работы, обеспечивающие тушение пожара и спасение людей, т. е. сможет ли локализовать пожар? Если прибывшее пожарное подразделение локализовать пожар не сможет, то принимается решение об увеличении количества основных пожарных автомобилей, задействованных в специальном наряде.

Специальная и вспомогательная пожарная техника назначается в наряд исходя из оперативно-тактических характеристик объекта защиты и специфики предстоящих задач.

В ходе решения задач, возникающих в процессе несения службы в составе специальных нарядов, был подобран минимально необходимый комплект снаряжения сотрудника ГПС, выполняющего функции дозорного (рис. 4).

Такой набор позволяет дозорному оперативно реагировать на складывающуюся на участке обстановку и приступить к тушению пожара в начальной стадии его развития, а поясная сумка для переноски снаряжения не занимает рук и не сковывает при этом движений.

Такое снаряжение необходимо сотрудникам частных охранных структур, обеспечивающих различные мероприятия с массовым сосредоточением людей, и может использоваться ими после прохождения элементарного обучения по его применению. Это позволит во многих случаях ликвидировать пожары в начальной стадии или увеличить резерв врем-

мени для эвакуации людей до наступления смертельных параметров опасных факторов пожара.

Помощь

Подрыв поезда “Невский экспресс” 27 ноября 2009 г. и взрывы в московском метро 29 марта 2010 г. вновь напомнили о террористической угрозе. Снова погибшие и пострадавшие люди. В числе первых, пришедших на помощь, были сотрудники ФПС.

Пожарным и спасателям России уже приходилось тушить пожары и спасать людей в условиях боевых действий, в обстановке террористического акта. Естественная задача любого должностного лица силовой структуры в этих условиях — защитить свой личный состав. Это тема для отдельного глубокого исследования, требующая обобщения и анализа опыта, накопленного пожарными и спасательными подразделениями как в России, так и за рубежом (вспомним недавние массовые беспорядки и поджоги во Франции [6, 7]).

На основе анализа опыта, накопленного Московским гарнизоном пожарной охраны, и вероятности свершения террористических актов в г. Москве было выработано решение о дополнительном оснащении расчетов пожарно-спасательных подразделений, привлекаемых к несению службы в специальных нарядах, средствами защиты, а именно:

- общевойсковым фильтрующим противогазом, укомплектованым фильтрующей коробкой с защитным действием как по боевым отравляющим веществам, так и по АХОВ;
- бронежитом переносным, многофункциональным, пожарно-спасательным;

- антитеррористическим комплектом пожарного, включающим в себя противоосколочный комбинезон и противоосколочный шлем — сферу с забралом.

Подбор данного снаряжения проводился с обязательным условием — возможностью его использования в условиях пожара.

Заключение

На современном этапе массовые мероприятия представляют собой важное социально значимое явление, требующее комплексного использования сил и средств подразделений МЧС России для обеспечения пожарной безопасности и оперативного реагирования на складывающуюся обстановку при их проведении, согласованных действий не только различных подразделений, подчиненных Главному управлению МЧС России по г. Москве, но и других государственных органов, органов местного самоуправления, общественных формирований и организаций.

Процессы управления силами и средствами МЧС России, задействованными в обеспечении общественной безопасности при проведении таких мероприятий, требуют дальнейшего изучения, совершенствования, обобщения передового российского и зарубежного опыта, обмена информацией между силовыми структурами и органами государственной власти. Авторы статьи призывают к обсуждению затронутой в статье темы, которая становится особенно актуальной в свете роста роли России на международной арене и в преддверии проведения Олимпийских игр в г. Сочи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гиляровский В. А. Собрание в 4 т. Т. 4. — М. : Правда, 1989. — С. 374.
2. Остроухов А. М. Катастрофа на Ходынском поле // Прометей. — 1969. — № 7. — С. 446–448.
3. Конституция Российской Федерации [электронный ресурс]. URL : <http://www.constitution.ru> (дата обращения: 20.04.2010).
4. О безопасности : Федер. закон от 5 марта 1992 г. № 2446-1 (ред. от 2 марта 2007 г.) [электронный ресурс]. URL : <http://www.base.constitution.ru> (дата обращения: 20.04.2010).
5. О пожарной безопасности : Федер. закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ : принят Гос. Думой 18 ноября 1994 г. [электронный ресурс]. URL : <http://www.base.constitution.ru> (дата обращения: 20.04.2010).
6. Погромы во Франции [электронный ресурс]. URL : http://www.gazeta.ru/2005/11/03/box_4800.shtml (дата обращения: 20.04.2010).
7. Война предместий [электронный ресурс]. URL : <http://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 20.04.2010).

Материал поступил в редакцию 27 апреля 2010 г.

*Электронные адреса авторов: palych71@bk.ru;
grysha011@mail.ru; dan_aleks@mail.ru.*



Н. И. Акинин
д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой РХТУ
им. Д. И. Менделеева,
г. Москва, Россия



Н. Н. Булхов
канд. техн. наук, Дирекция информаци-
онных технологий, главный специалист
Департамента планирования и коорди-
нации ИТ-проектов, г. Москва



В. А. Гериш
аспирантка РХТУ
им. Д. И. Менделеева,
г. Москва, Россия

УДК 66.013.8

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИЧИН АВАРИЙ И ТРАВМАТИЗМА НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

Рассмотрены причины возникновения и последствия около 10 тысяч аварий на опасных производственных объектах. Показано, что причиной более чем 60 % аварий стали пожары и взрывы, а результатом таких аварий – более 70 % случаев гибели и травм на производстве. Проведен анализ относительной взрывоопасности различных отраслей промышленности и показано, что наибольшее число аварий вызвано образованием взрывоопасных парогазовых смесей.

Ключевые слова: причины возникновения аварий; смертельные случаи и ранения на производстве; пожары; взрывы; химическая и нефтехимическая промышленность.

Среди объектов, на которых обращаются опасные вещества и материалы, перечисленные в Федеральном законе “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” № 116-ФЗ, утвержденном 21 июля 1997 г. (“Российская газета”, 30 июля 1997 г.), абсолютное большинство составляют взрывоопасные производства. Прежде всего это относится к предприятиям химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Вклад пожаров и взрывов на этих производствах в общее число аварий, сопровождаемых гибелью людей и тяжелым травматизмом, чрезвычайно велик.

Этот вывод подтверждается результатами статистического анализа причин аварий в промышленности различных стран мира, сведения о которых приведены в Интернете на сайте Industrial Fire World (IFW) по адресу: <http://www.fireworld.com>. На сайте размещены краткие описания причин возникновения и последствий аварий и несчастных случаев на опасных производственных объектах, связанных с проявлением разнообразных опасных факторов и приведших к тяжелому травматизму и смертельным случаям.

Были проанализированы последствия более 10 тысяч аварий, произошедших в течение десяти лет на опасных промышленных объектах различных стран.

Диаграмма, приведенная на рис. 1, показывает, что общее количество аварий, описанных на сайте IFW, в том числе пожаров и взрывов, имеет тенденцию к росту. Однако нельзя исключить, что это может быть связано с увеличением с течением времени объема информации и количества объектов, сведения об авариях на которых размещены на сайте IFW. Поэтому внимание уделялось, прежде всего, оценке вклада пожаров и взрывов в общее число происшествий.

Как видно из табл. 1, доля такого рода инцидентов в общем числе опасных происшествий значи-

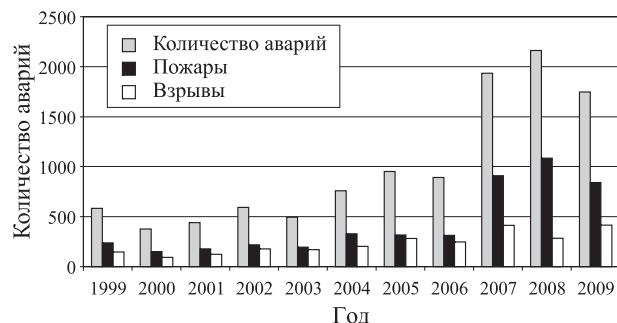


Рис. 1. Вклад пожаров и взрывов в общее количество аварий на промышленных предприятиях

Таблица 1. Доля пожаров и взрывов в общем количестве аварий на промышленных предприятиях

Год	Количество аварий			Доля аварий, связанных с пожарами и взрывами, %
	общее	пожары	взрывы	
1999	583	237	146	65,7
2000	376	150	91	64,1
2001	439	177	122	68,1
2002	592	218	178	66,8
2003	493	194	170	73,9
2004	757	327	203	70,1
2005	950	316	281	63,3
2006	891	313	247	62,8
2007	1934	908	411	68,1
2008	2163	1084	282	67,8
2009	1748	842	414	71,9
Итого	10926	4766	2545	67,5 (средняя за 11 лет)

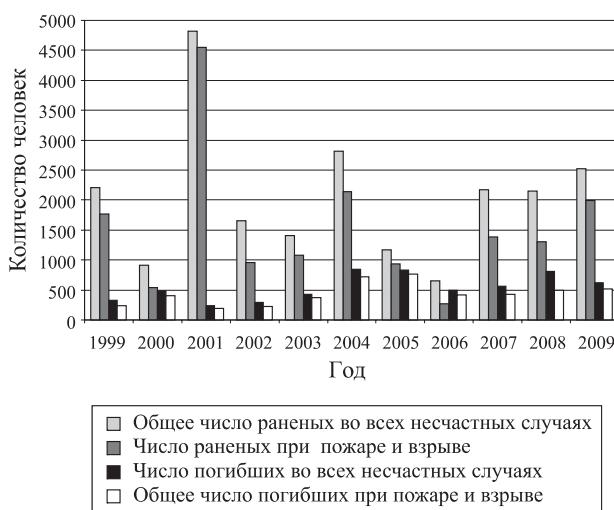


Рис. 2. Число погибших и раненых при авариях на промышленных предприятиях

тельно превышает 60 %, оставаясь более или менее стабильной на всем протяжении анализируемого периода.

Анализ количества случаев тяжелого травматизма и гибели людей при авариях различного рода показывает не только повышенную вероятность возникновения пожаров и взрывов по сравнению с другими инцидентами, но и позволяет оценить тяжесть их последствий. Из диаграммы, приведенной на рис. 2, видно, что большая часть пострадавших при промышленных авариях погибли или получили травмы в результате воздействия опасных факторов пожара или взрыва.

Был проведен анализ относительной взрывобезопасности производств в различных отраслях промышленности, результаты которого приведены в табл. 2.

Таблица 2. Количество пожаров и взрывов в различных отраслях промышленности

Год	Химическая, нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая промышленность	Металлургия	Производство товаров общего потребления	Машиностроение	Деревообрабатывающая промышленность		Электростанции										
					1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2009	
1999	87		30	143	6	5	22										
2000	64		13	104	0	5	8										
2001	95		24	95	4	3	19										
2002	168		33	112	2	6	25										
2003	140		14	38	4	6	5										
2004	232		29	63	14	30	13										
2005	297		36	64	9	22	20										
2006	348		37	128	12	18	20										
2007	492		79	243	35	43	60										
2008	582		98	167	51	33	57										
2009	372		88	225	37	35	51										

Таблица 3. Количество аварий в химической и нефтехимической промышленности

Год	Количество аварий		Количество пострадавших при пожаре и взрыве	
	общее	пожаров и взрывов	погибших	раненых
2003	215	140	143	364
2004	354	232	258	655
2005	558	297	444	740
2006	648	348	320	176
2007	875	492	240	416
2008	950	582	296	423
2009	798	372	289	316

Как видно из табл. 2, в большей части анализируемого периода число аварий на предприятиях химической, нефтеперерабатывающей и нефтедобывающей отраслях промышленности, связанных с пожарами и взрывами, превышает их количество в других отраслях промышленности, в которых обращаются пожаровзрывоопасные материалы (табл. 3).

Анализ числа пожаров и взрывов различных опасных материалов (табл. 4) показывает, что наибольший вклад в общее число аварий вносят взрывы смесей паров легковоспламеняющихся жидкостей и газов.

Зачастую взрывы таких смесей приводят к существенным разрушениям и человеческим потерям. Особенно опасная ситуация возникает в том случае, если допущены ошибки в категорировании поме-

Таблица 4. Количество аварий с различными пожаровзрывоопасными материалами

Год	Порошки металлов	Газ	Жидкость (ЛВЖ, ГЖ)	Пыль	Контакт расплавленного металла с водой	Взрывчатые вещества, пиротехнические смеси	Химикаты
1999	1	27	31	8	5	12	8
2000	6	23	26	4	1	4	10
2001	3	13	42	4	5	5	4
2002	5	22	64	17	6	15	9
2003	4	35	91	5	3	2	29
2004	6	31	158	11	2	3	48
2005	14	69	256	11	6	3	92
2006	13	63	176	18	4	4	57
2007	32	134	351	36	6	7	109
2008	40	178	491	53	9	14	147
2009	73	213	456	56	2	36	119
Всего	197	808	2142	223	49	105	632

щений и зданий по пожаровзрывоопасности и технологических блоков по взрывоопасности. Дело в том, что на основании такого категорирования принимаются наиболее ответственные проектные решения по обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов: по необходимой степени взрыво- и огнестойкости зданий, допустимому числу этажей, безопасному расстоянию между зданиями и между противопожарными преградами внутри зданий, длине эвакуационных проходов и т. п. Ошибки при проектировании приводят к полному разрушению зданий и гибели находящегося в них персонала.

Необходимым условием принятия обоснованных решений является адекватное прогнозирова-

ние условий образования и количества взрывоопасной среды, параметров возможных взрывов и их разрушительных последствий. Анализ действующих в этом отношении нормативных документов и регламентированных в них методик показал наличие целого ряда противоречий и неточностей.

К числу таких недостатков, например, действующей методики категорирования помещений и зданий по пожаровзрывоопасности относятся:

- 1) невозможность расчета массы и состава пары многокомпонентных жидкостей, принимающего участие во взрыве;
- 2) невозможность расчета теплоты горения многокомпонентных жидкостей;
- 3) использование заниженных справочных значений максимального давления взрыва;
- 4) применение эмпирической, не имеющей явного физического обоснования некорректной формулы для расчета скорости испарения.

Существенные преобразования в отношении структуры и иерархии этих документов произошли в нашей стране в связи с введением в действие с 1 мая 2009 г. "Технического регламента о требованиях пожарной безопасности" (Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ). Одновременно в силу вступили 12 сводов правил в области пожарной безопасности и подтверждено действие 84 национальных стандартов, обеспечивающих выполнение требований Технического регламента. Однако в них сохранилась большая часть недоработок, выявленных в ранее действующих нормативах. Все это требует проведения исследований, посвященных уточнению параметров горения и взрыва легковоспламеняющихся жидкостей и газов и коррекции методик расчета параметров взрыва.

Материал поступил в редакцию 24 июня 2010 г.
Электронный адрес авторов: Gerishvlada26@mail.ru.

О НЕКОТОРЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ СТАТЬИ “ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ В СОСТАВЕ ЕДДС”

**Д-р техн. наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы РФ
А. А. Таранцев**

В № 6 журнала за 2010 г. на с. 30–38 опубликована статья В. И. Зыкова и др. “Функционирование системы мониторинга безопасности объектов в составе ЕДДС”. Она посвящена актуальной проблеме, но один из ее разделов, а именно “Обобщенный комплексный критерий оценки”, не может не вызвать некоторых сомнений. В нем предлагается оценивать качество системы связи по комплексному аддитивному критерию, для чего на с. 36 приводится следующее выражение:

$$L_{\text{окк}} = \alpha_1 E + \alpha_2 Q + \alpha_3 \frac{S_1}{S_0} + \alpha_4 \prod_{i=1}^5 P_i + \alpha_5 \frac{C_1}{C_0},$$

где $\alpha_1, \dots, \alpha_5$ — весовые коэффициенты характеристики качества системы связи, удовлетворяющие условию $\sum_{i=1}^5 \alpha_i = 1$;

E — эффективность функционирования сети связи [4];

Q — оперативность связи [4];

S_1 — показатель оценки площади, на которой обеспечивается уверенная связь;

S_0 — показатель оценки требуемой площади обеспечения уверенной радиосвязи;

P_i — вероятность обеспечения надежности радиосвязи на заданном уровне для i -го участка трассы радионаправления, состоящего из n участков;

C_1 — стоимость радиосистемы, которая способна обслуживать территорию площадью S_1 ;

C_0 — стоимость потенциально возможной радиосистемы, которая способна обслуживать территорию площадью S_0 .

В связи с использованием такого критерия необходимо отметить следующее.

1. Одно из важнейших требований к аддитивным критериям — весовые коэффициенты при показателях (в данном случае — “характеристиках качества системы связи”), которые желательно увеличивать, должны быть положительными, а при показателях, которые желательно уменьшать, — отрицательными [1].

Что же видим? Все весовые коэффициенты авторы приводят положительными: $\alpha_1 = 0,354$; $\alpha_2 = 0,199$;

$\alpha_3 = 0,131$; $\alpha_4 = 0,248$; $\alpha_5 = 0,068$ (с. 37). Если для показателей эффективности, оперативности, надежности и площади обеспечения уверенной связи это приемлемо, поскольку их желательно увеличивать, то для стоимости авторы приводят весовой коэффициент также положительным: $\alpha_5 = 0,068$ (?!). А этот показатель желательно уменьшать, как указывают сами же авторы на с. 36: “Такую систему стремятся создать … по возможности недорогой”.

2. Другое важное требование — показатели, входящие в аддитивный критерий оценки, должны быть независимыми. Иными словами, если какая-либо пара показателей взаимозависима, то один из них может быть удален из рассмотрения, поскольку другой его вполне “представить” комплексным критерием, а сам критерий обоснованно упростится.

Однако в приведенном критерии $L_{\text{окк}}$ показатели E и Q взаимозависимы. В самом деле, о какой эффективности связи можно говорить, если она неоперативна? Подтверждение этого — в известном учебнике [2], где на с. 161 выведено соответствующее выражение (здесь оно приводится в обозначениях анализируемой статьи):

$$E = Q + (1 - Q)T_{\text{пп}} / (T_{\text{пп}} + T_{\text{вп}}),$$

где $T_{\text{пп}}$ — полезное время передачи;

$T_{\text{вп}}$ — величина непроизводительных затрат времени.

Это относится и к показателю надежности. В самом деле, может ли эффективно функционировать сеть связи, если она ненадежна?

3. Как следует из выражения для критерия $L_{\text{окк}}$, авторы сравнивают исследуемую систему связи, имеющую стоимость C_1 и обеспечивающую уверенную связь на площади S_1 , с некоей “потенциально возможной радиосистемой”, обладающей показателями C_0 и S_0 . Тогда необходимо сравнивать также и другие показатели — эффективность, оперативность и надежность — этих двух систем. Но это почему-то не делается.

4. При определении значений пяти весовых коэффициентов $\alpha_1, \dots, \alpha_5$ экспертными методами авторы почему-то предлагают экспертам ранг каждого показателя определять от 0 до 6 (?!). Правда,

на этой же с. 37 в критерии $L_{окк}$ авторы вводят и *шестой* весьма загадочный показатель — H , представляя читателям самим догадываться, что это — высота, энтропия или что-либо еще. И он не самый малозначимый — см. рис. 4 на с. 37.

Далее в выражении для $L_{окк}$ на с. 37 куда-то исчезают показатели S_0, S_1, C_1 и C_0 , но вместо них появляются новые: $S_i, S_{i \min}, S_{i \max}, C_i, C_{i \min}$ и $C_{i \max}$, а у показателя P исчезает индекс “ i ”. Причем никаких вразумительных объяснений этим изменениям не дается.

При сравнении критериев $L_{окк}$, приводимых на с. 36 и 37, обращает на себя внимание, что верхний предел операторов произведения в одном случае i , а в другом — n . Где правильно?

5. Кроме того, авторы на с. 36 утверждают, что “На основе представленной радиосети для передачи сигналов тревоги о загораниях с объектов в центр

ЕДДС города как СМО (система массового обслуживания — *авт.*) была построена математическая модель такой радиосети”, ссылаясь на свою работу [3] в Вестнике Академии ГПС МЧС России. Но им, прежде чем ссылаться на работу [3], не мешало бы просмотреть и № 1(9) аналогичного журнала, издающегося в АГПС, где показана некорректность приведенного ими графа переходов СМО и, как следствие, некорректность всей математической модели [4].

Вывод: Таким образом, предложенный критерий $L_{окк}$ нельзя признать корректным и пригодным для оценки систем связи при мониторинге безопасности объектов. Также хотелось бы рекомендовать уважаемым авторам с большей тщательностью подходить к отработке материалов, направляемых в такой известный журнал, как “Пожаровзрывобезопасность”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Венцель Е. С. Исследование операций. — М. : Сов. радио, 1972.
2. Шаровар Ф. И. Автоматизированные системы управления и связь в пожарной охране / ВИПТШ МВД СССР. — М. : Радио и связь, 1987.
3. Зыков В. И. и др. Математическое моделирование системы приема и обслуживания сообщений о пожарах и ЧС // Вестник Академии ГПС МЧС России. — 2007. — № 7.
4. Таранцев А. А. К вопросу о математическом моделировании системы приема и обслуживания сообщений о пожарах и ЧС // Пожары и ЧС: предотвращение и ликвидация. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2008. — № 1(9).



ООО “Издательство “Пожнаука”
121352, г. Москва, ул. Давыдковская, д. 12, стр. 7
тел./факс: (495) 228-09-03, 445-42-34
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 компаний, 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

Октябрь 2010 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 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			
Баранин В. Н.	Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. — 2004. — 332 с.	5-901-283-02-5	70
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 пожаротушения автоматические: справочник. — Изд. 4-е, с изм. — 2004. — 408 с.: ил.	5-98629-008-9	50
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: учебное пособие. — 2007. — 383 с.	5-903049-09-5	280
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиный А. В.	Леса, торфяники, лесосклады. — 2007. — 358 с.	5-903049-12-5	280

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушный А. В.	Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: учебное пособие. — 2007. — 325 с.	5-903049-11-7	280
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
Брушилинский Н. Н., Корольченко А. Я.	Моделирование пожаров и взрывов. — 2000. — 492 с.		540
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
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
Корольченко А. Я.	Процессы горения и взрыва: учебник. — 2007. — 266 с.: ил.	978-5-91444-001-2	450
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — 2008. — 314 с.	5-903049-10-9	300
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 взрывустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — 2000. — 224 с.: ил.	5-901283-03-1	240
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.	Краткий курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — Изд. 4-е, с изм. и доп. — 2010. — 320 с.: ил.	978-5-98629-016-4	180
Собурь С. В.	Пожарная безопасность общественных и жилых зданий: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 192 с.: ил.	978-5-98629-014-0	125
Собурь С. В.	Пожарная безопасность промпредприятий: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2007. — 176 с.	5-98629-013-5	110
Собурь С. В.	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 272 с.	5-98629-012-7	145
Собурь С. В.	Установки пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с.	5-98629-003-8	150
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

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строевая подготовка: учебно-методическое пособие. — 2008. — 350 с.	5-91017-019-9	460
Теребнев В. В., Подгрушный 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
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”.**

	Стоимость, 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)	7080 (экономия 500 руб.)
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	2080 (экономия 200 руб.)

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 XXI”	(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, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
- по тел./факсу: (495) 228-09-03, 445-42-15, 445-42-34;
- 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 $\bar{\Omega}$); 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.

Experimental Estimation of Normal Speed of Dust-Air Mixture Burning

Poletaev N. L., Dr. of Technics, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom RF, Moscow, Russia

Features of definition and practical use of concept of normal speed of a flame for dust-air mixture are noted. Affirms that methods of an experimental research of the given speed at characteristic for dust-air mixture relative movement of phases can essentially differ from similar methods of research of combustible air-gas mixes. It is shown (in frameworks of conductive mechanism of a flame propagation) that maximum speed of burning of dust-air mixture coincides (in the order of size) with speed of burning of the cylindrical sample of this fuel having the same diameter as dust particles. Legitimacy of the given conclusion illustrated on the results of experimental researches of burning of cellulose.

Key words: dust-air mixture; normal speed of burning; burning of monofiber.

The Ignition of Chloromethane and Chlorine Gas Mixtures under UV-Light

Belikov A. K., Cand. of Technics, Associate Professor of State Academy of Fire-Prevention Service of Emercom RF, Moscow, Russia

Nikitin I. S., Postgraduate Student of State Academy of Fire-Prevention Service of Emercom RF, Moscow, Russia

Begishev I. R., Dr. of Technics, Professor of State Academy of Fire-Prevention Service of Emercom RF, Moscow, Russia

The influence of continuous UV-light on chloromethane and chlorine gas mixtures was studied experimentally. The concentration limits of photothermal ignition have been measured and their dependence on the intensity of UV-radiation has been set. The critical intensity of UV radiation, below which the $\text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}_2$ gas mixtures are not flammable, has been determined.

Key words: ultraviolet radiation; photoignition; concentration limits; chloromethane; chlorine.

Low Combustible Vibrodumpling Material

Vagin S. Yu., Postgraduate Student Enikolopov Institute of Synthetic Polymeric Materials of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Vasin V. P., Cand. of Technics, Senior Research Worker of Enikolopov Institute of Synthetic Polymeric Materials of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Zdorikova G. A., Cand. of Technics, Chief Technologist of CSRL SC "Standartplast", Ivanovo, Russia

Rudakova T. A., Cand. of Chemistry, Research Worker of Enikolopov Institute, Moscow, Russia of Synthetic Polymeric Materials of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Results of the work by creation of low combustible vibrodumpling material on the base of non-drying sealant with characteristics conforming to passenger car building requirements by acoustic properties, adhesion to painted metal, frost resistance, combustion product toxicity and smoke forming capacity are given. It can be obtained by usage of chlorine butyl rubber and non-toxic fire retardant (magnesium

and aluminum hydroxides) in sealant composition. Availability of application of this material is presented.

Key words: vibrodumpling, thermogravimetry, inflammability, fire risk, fire retardants, hydroxides.

Laboratory Installation for an Estimation of Fireproof Efficiency of Reactive Coverings for Metal Constructions Taking into Account Parameters of Development of a Real Fire

Rybka E. A., Postgraduate Student of National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkov, Ukraine

Andronov V. A., Dr. of Technics, Prorector on a Science, Professor of National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkov, Ukraine

Advanced improvement laboratory installation for an estimation of fireproof efficiency and termophysical characteristics of reactive coverings for metal constructions allowing to set various temperature modes of a fire. Applications of the diminished experimental standard are grounded for the leadthrough of researches as evaluated by fireproof ability of reactive coverages for metallic constructions.

Key words: reactive coverage; laboratory installation; fireproof efficiency; a temperature mode of a fire; silicon carbide electric heaters; the chamber furnace; similarity; resulted thickness of metal; experimental standard; the measuring block.

Fireproof Protective Materials. Modification Siloxan Protective Materials by Compounds of Aluminium

Timofeeva S. V., Cand. of Chemistry, Head of Department of Ivanovo State Institute of Fire-Prevention Service of Emercom RF, Ivanovo, Russia

Malyasova A. S., Cand. of Chemistry, Scientific Collaborator of Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, Russia

Khelevina O. G., Dr. of Chemistry, Honoured Scientist of RF, Professor of Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, Russia

The modification of siloxan covering on the base of liquid siloxan rubbers by compounds of aluminium is studied. It is shown that siliconorganic derivatives of aluminium are formed in this case. Vulcanized covering on basis of polyalumoorganosiloxans have high fire resistance and better physic-mechanical properties as compare to unmodified siloxan covering.

Key words: siloxan rubbers; modification; compounds of aluminium.

The Spatial Definition of a Problem About Coniferous Tree Ignition by Surface Storm Discharge

Kuznetsov G. V., Dr. of Physics-Mathematics, Professor of National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

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

Spatial setting-up of coniferous tree ignition by electric current of ground lightning discharge realization results are submitted.

The problem is solved in three-dimensional statement in cylindrical system of coordinates. Axisymmetric problem statement is considered. Localization of reactive wood, structural heterogeneity of a bark, volt-ampere characteristic of ground lightning discharge, chemical reaction in gas phase is taken into account. Coniferous tree ignition conditions in typical range of influence discharge parameters change are revealed. Comparison of computing loading for three-dimensional and sets of two-dimensional algorithms is lead.

Key words: ignition; spatial setting-up; ground lightning discharge; chemical reaction.

Realization of Riding Forest Fire Spreading Model Using Parallel Programming Technology

Katayeva L. Yu., Dr. of Physics-Mathematical Sciences, Professor of Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

Ukrova I. I., Magistr Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

Kurkin A. A., Dr. of Physics-Mathematical Sciences, Professor of Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

Katayeva N. A., Magistr Nizhny Novgorod State Technical University, Nizhny Novgorod, Russia

The purpose of the work was to investigate existing program realization of riding forest fire numerical model and to develop the program realization parallel variants, what will allow to accelerate calculation process. Technology OpenMP because it allows processes to use the common memory blocks and in comparison with MPI it helps to avoid memory duplication and time expenses for transfer of the data between processes, and CUDA—the hardware-software decision, allowing to use a graphic card for the decision of general computing problems, it's one of the leading parallel programming technologies at present.

Key words: fire numerical model; parallel programming technology; OpenMP; CUDA; mathematical modeling; forest fires.

The Problem of Fire Indicators Determination During Technological Processes that Are Connected with Technological Sphere Heating Till Critical Temperatures (Drying)

Sen'ko D. G., Deputy Chief of the Head of the Scientific Research Institute of Fire Safety and Emergencies (RIFSE-Belarus) under the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Polhlebov I. P., Senior Specialist of Regulation and Standardization Department, RIFSE-Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Melnichuk V. V., Cand. of Technics, Associate Professor of Information Protection Chair of the Belarusian State University of Information Science and Radio Electronics (BGUIR), Minsk, Republic of Belarus

Problematic questions of fire safety protection provision of grain purifying and dryer complexes of a mine type were consi-

dered; test results and principle solutions on creation of a system that allows to reveal and liquidate fire ignition without a stoppage of technological equipment are presented.

Key words: grain dryer complex; fire; fire announcer; fire safety protection; technological sphere.

Management of Fire and Rescue Units in Carrying Out Activities with a Massive Concentration of People

Denisov I. P., Head of the Organization and Use of Fire Fighting Forces Ministry of Emergency Situations of Russia in Moscow, Moscow, Russia

Podgrushny A. V., Cand. of Technics, Assistant Professor, Chief of Fire and GDZS Directorate of the Moscow Region "Mosoblpozhspas", Moscow, Russia

Denisov A. N., Cand. of Technics, Assistant Professor, Chair of Fire Tactics and Service of Academy of State Fire Fighting Service of Department of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

Examined the validity of fire risks and management for events of different nature with a massive concentration of people. Calculation algorithm of necessity in forces and facilities for mass events without decrease of readiness of forces on duty located on the territory of fire prevention garrison is given. Slogan of Emercome of Russia "Prevention, rescue, assistance" as a management activity directed at safety ensuring for people in case of mass events is considered.

Key words: algorithm; events; fire; calculation; risk; fire-fighting; management.

The Statistical Analysis of Reasons of Accident and Industrial Injuries on Dangerous Industrial Objects

Akinin N. I., Dr. of Technics, Professor, Chief of Chair of Reliability and Safety of Technological Processes of Mendeleev University of Chemical Technology, Moscow, Russia

Bulhov N. N., Cand. Technics, Board of Information Technologies, Department of Planning and Co-Ordination IT-Projects, Leading Specialist, Moscow, Russia

Gerish V. A., Postgraduate Student of Mendeleev University of Chemical Technology, Moscow, Russia

Reasons of occurrence and consequence about 10000 failures on dangerous industrial objects are considered. It is shown, that more than 60 % failures have occurred as a result of fires and explosions, thus the result of such failures were more than 70 % fatal cases and wounds on a manufacture. The analysis of relative explosion hazard of different industries is made and it is shown that most number of them are caused formation of explosive of steam, gas and air mixtures.

Key words: reasons of occurrence failures; fatal cases and wounds on a manufacture; fires; explosions; chemical and petrochemical industry.

Вице-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

Редакторы:

Л. В. Крылова, Т. В. Сергунина

Отдел рекламы и распространения:
Е. В. Майорова

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

Editors:

L. V. Krylova, T. V. Sergunina

PR and Subscription Section:
E. V. Maiorova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнauка”

Тел./факс: (495) 228-09-03, 445-42-34

121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7

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

<http://www.firepress.ru>

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 11.10.10.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

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. (в том числе НДС — 18 %).

Годовая подписка включает в себя двенадцать номеров журнала "Пожаровзрывобезопасность" и шесть номеров журнала "Пожарная безопасность в строительстве". Стоимость годовой подписки на комплект составляет 7080 руб. (в том числе НДС — 18 %).



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА на журнал пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ КУПОН '2011

Издание	Цена подписки, руб., включая НДС	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Комплект журналов "Пожаровзрывобезопасность" и "Пожарная безопасность в строительстве": полугодие год	3790 7080		
Журнал "Пожарная безопасность в строительстве": полугодие год	1140 2080		

- 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) 445-42-34 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: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7
ИНН 7722589941 КПП 772201001
Р/с 40702810060120585901 в ОАО "ПРОМСВЯЗЬБАНК" г. Москва
БИК 0445583119
К/с 30101810600000000119
Генеральный директор — Корольченко Александр Яковлевич

**По вопросам подписки прошу обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 445-42-34**

ПОДПИСКА:

через редакцию журнала "Пожаровзрывобезопасность";
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 подписаться на журнал "Пожарная безопасность в строительстве".

Стоимость полугодовой подписки (три номера) составляет 1140 руб. (в том числе НДС — 18 %). Стоимость годовой подписки (шесть номеров) составляет 2080 руб. (в том числе НДС — 18 %).

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!**



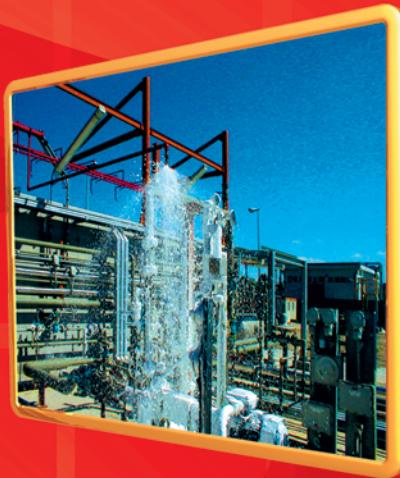
Карточка учета сведений о подписчике

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	

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.

