

ПОЖАРОВЗРЫВО БЕЗОПАСНОСТЬ

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 вибродемпфирующий 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



ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

ТОМ 19 ♦ № 10 ♦ 2010

FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ		COMBUSTION PROCESSES
Полетаев Н. Л. О методе экспериментальной оценки нормальной скорости горения аэрозвеси	2	Poletaev N. L. Experimental Estimation of Normal Speed of Dust-Air Mixture Burning
ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ		FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS
Беликов А. К., Никитин И. С., Бегишев И. Р. Воспламенение смесей хлорметана с хлором под действием ультрафиолетового излучения	9	Belikov A. K., Nikitin I. S., Begishev I. R. The Ignition of Chloromethane and Chlorine Gas Mixtures under UV-Light
ОГНЕЗАЩИТА		FIRE RETARDANCE
Вагин С. Ю., Васин В. П., Здорикова Г. А., Рудакова Т. А. Трудногорючий вибродемпфирующий материал	13	Vagin S. Yu., Vasin V. P., Zdorikova G. A., Rudakova T. A. Low combustible vibrodampening material
Рыбка Е. А., Андронов В. А. Лабораторная установка для оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий для металлических конструкций с учетом параметров развития реального пожара	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
Тимофеева С. В., Малясова А. С., Хелевина О. Г. Защитные материалы пониженной пожарной опасности. Модифицирование силиконовых покрытий соединениями алюминия	25	Timofeeva S. V., Malyasova A. S., Khelevina O. G. Fireproof Protective Materials. Modification Siloxan Protective Materials by Compounds of Aluminium
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ		FIRE MODELING
Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Пространственная постановка задачи о зажигании хвойного дерева наземным грозовым разрядом	30	Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. The Spatial Definition of a Problem about Coniferous Tree Ignition by Surface Storm Discharge
Катаева Л. Ю., Ухова И. И., Куркин А. А., Катаева Н. А. Реализация модели распространения верхового лесного пожара с использованием технологии параллельного программирования	38	Katayeva L. Yu., Ukhova I. I., Kurkin A. A., Katayeva N. A. Realization of Riding Forest Fire Spreading Model Using Parallel Programming Technology
ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ		FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES
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)	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)
БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ		FIRE SAFETY OF PEOPLE
Денисов И. П., Подгрушный А. В., Денисов А. Н. Управление пожарными и спасательными подразделениями при проведении мероприятий с массовым сосредоточением людей	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
СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ		STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE
Акинин Н. И., Булхов Н. Н., Гериш В. А. Статистический анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах	53	Akinin N. I., Bulhov N. N., Gerish V. A. The Statistical Analysis of Reasons of Accident and Industrial Injuries on Dangerous Industrial Objects
ДИСКУССИИ		DISCUSSION
Таранцев А. А. О некоторых положениях статьи "Функционирование системы мониторинга безопасности объектов в составе ЕДДС"	56	Tarantsev A. A. About Some Positions of Article "Functioning of System of Monitoring of Safety of Objects in Structure EDDS"
ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК	58	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



Е. А. Рыбка
адъютант 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 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 которые 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, происходят 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 стандартизированных 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 (нагурные) испытания конструкций на огнестойкость [5]. Эти испытания требуют изготовления фрагментов реальных конструкций, значительных материало- 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 °С, 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

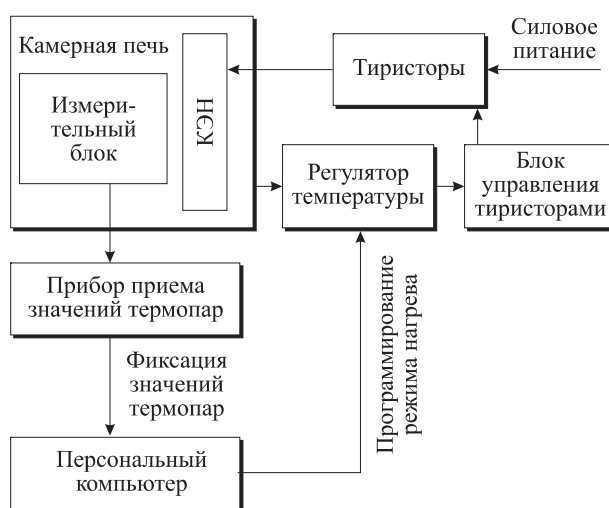


Рис. 1. Функциональная схема лабораторной установки для оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных покрытий для металлических конструкций: КЭН — карбидокремниевый электрический нагреватель

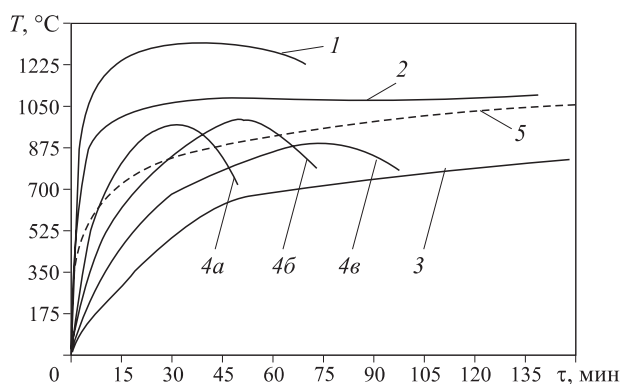


Рис. 2. Температурные режимы пожара в помещениях зданий и сооружений разного назначения: 1 — в тоннелях; 2 — в сооружениях нефтеперерабатывающей и химической промышленности; 3 — в подвалах; 4 — в жилых помещениях с разными площадями прорезов (от “а” до “в” площадь прорезов уменьшается от 2 до 1 м²); 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 °С и могут устанавливаться непосредственно в воздушной атмосфере без защитной оболочки.

Для лабораторной установки выбраны гантелевидные (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 $S_b = 75$ см², номинальное электрическое сопротивление $R_n = 4,7$ 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 не превышения 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, Вт/см²;
 S_b — площадь поверхности излучения активной части, см²;

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 покоится на стальной опоре.

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

а) 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, °С	2820
3	Плотность, кг/м ³	3200
4	Температурный коэффициент линейного расширения 24–2400 °С, 10 ⁻⁶ К ⁻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 °С	≤ 15
	1400 °С	≤ 5
10	Рабочий ресурс при номинальной работе, ч	1000

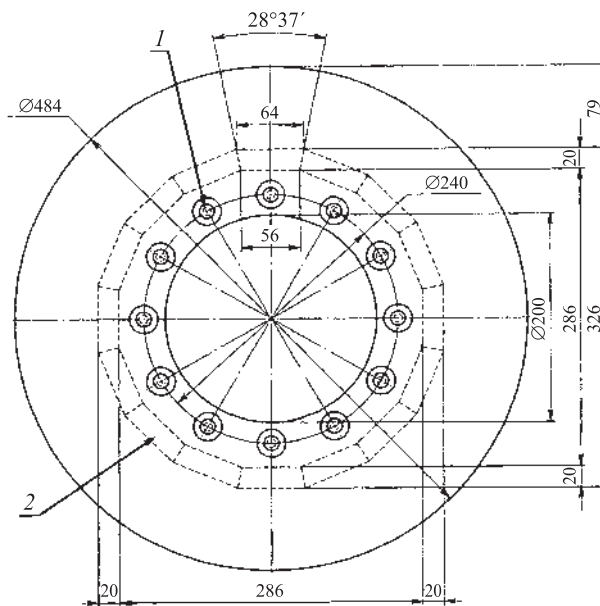


Рис. 3. Размещение КЭНов в печи (вид сверху): 1 — КЭН; 2 — футеровка

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

б) цифровую индикацию:

- текущего значения температуры с точностью ± 1 °С;
 - 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 тиристорov регулирует силовое питание нагревателей печи.

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

Схема коммутации	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	Используются только при очень больших значениях электрического сопротивления нагревателей в случае их сильного старения		

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-

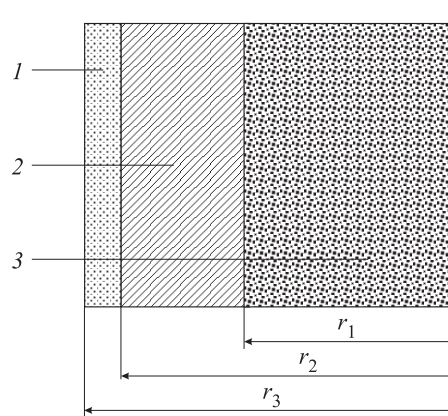


Рис. 4. Схема трехслойной тепловой системы экспериментального образца: 1 — испытываемое вспучивающееся покрытие; 2 — стальной цилиндрический образец; 3 — теплоизоляция; r_1 — внешний радиус теплоизоляции полости образца, м; r_2 — внешний радиус стального цилиндра, м; r_3 — внешний радиус защитного покрытия, 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 принят 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

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

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

принимая 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 варьировать режимами нагрева.

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

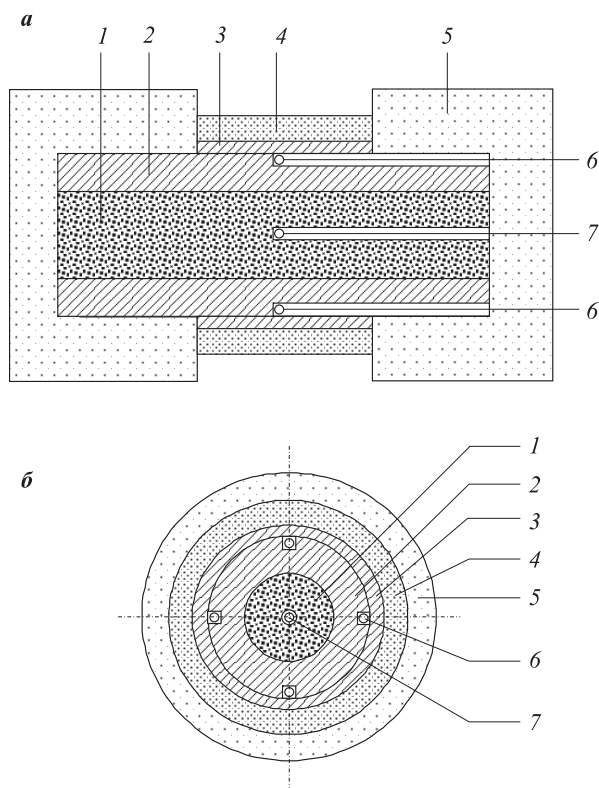


Рис. 5. Измерительный блок лабораторной установки для оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся огнезащитных покрытий для металлических конструкций: *а* — продольный разрез; *б* — поперечный разрез; 1 — теплоизоляция стального вкладыша; 2 — стальной цилиндрический вкладыш; 3 — стальной цилиндрический образец; 4 — испытуемое вспучивающееся покрытие; 5 — изолятор 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

1. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования // Строительные материалы. — 2002. — № 6. — С. 2–5.
2. Моделирование пожаров и взрывов / Под ред. Н. Н. Брушлинского и А. Я. Корольченко. — М. : Пожнаука, 2000. — 492 с.
3. 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.
4. 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 вспучивающегося 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.*