

УДК 674.049.3

## ОЦІНКА ДИМОУТВОРЮВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ТОКСИЧНОСТІ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ ВПЕ-1

БЄЛІКОВ А. С.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

ШАЛОМОВ В. А.<sup>2</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,

КОРЖ Є. М.<sup>3</sup>, *аспир.*,

РАГИМОВ С. Ю.<sup>4</sup>, *канд. техн. наук, доц.*

<sup>1</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

<sup>3</sup>Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49005, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: pankorzh@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-2421-3137

<sup>4</sup>Кафедра організації і технічного забезпечення аварійно-рятувальних робіт, Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, Харків, Україна, 61023, тел. +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

**Анотація. Постановка проблеми.** Розроблення захисного складу для будівельних конструкцій за дії високих температур та вивчення його димотвірної здатності і токсичності. Проведено аналітичний огляд основних груп захисних засобів, які знижують горючість дерев'яних будівельних конструкцій, дано оцінку їх технічних характеристик, а також відповідно до ГОСТ 12.1.044-89 «ССБП. Пожежовибухонебезпека речовин і матеріалів. Номенклатура показників та методи їх визначення» визначено вогнезахисні та санітарно-технічні показники розробленого захисного покриття. **Результати.** Розроблено композицію захисного спучуваного покриття, яке утворює на поверхні, тонкий непрозорий шар, що перешкоджає запаленню і поширенню полум'я по дерев'яній конструкції. Підбір речовини вогнезахисної композиції проводився за схемою «сполучник – добавка, що спучується, – наповнювач». За основу покриття взято рідке скло, тому що воно має такі позитивні характеристики як доступність, пов'язана з проявом рідким склом в'язучих властивостей, – здатності до мимовільного твердіння з утворенням штучного силікатного каменю. Додавання в рідке скло таких компонентів як перліт, графіт і епоксидна смола, беручи до уваги їх позитивні характеристики щодо дії високих температур, дозволило отримати нову вогнезахисну речовину. Для вогневих випробувань використовували установку з визначення коефіцієнта димоутворення речовин та матеріалів. Суть методу випробувань полягала у визначенні оптичної густини диму, який утворюється під час полуменевого горіння або тління зразка. Випробування проводили у двох режимах. У режимі тління на зразок діє тепловий потік поверхневою густиною 35 кВт/м<sup>2</sup>, а у режимі полуменевого горіння – тепловий потік та полум'я газового пальника. Дослідження з визначення димотвірної здатності показали, що надані зразки матеріалу «Суміш для виготовлення вогнезахисного покриття ВПЕ-1» належить до матеріалів із помірно димотвірною здатністю Д2. За результатами випробувань токсичності продуктів горіння виходить, що об'єкт випробувань належить до класу малонебезпечних. **Наукова новизна.** З урахуванням теоретичних передумов проведено вибір вихідних компонентів для нової захисної речовини. **Практична значимість.** Розроблено новий негорючий склад, що спучується, який дозволяє перевести горючі матеріали в групу важкогорючих і посилити захист будівельних конструкцій від впливу високих температур. На розроблену захисну композицію одержано патент України на корисну модель.

**Ключові слова:** пожежа; вогнезахисні речовини що спучуються; вогнезахист деревини; димоутворення; токсичність

## ОЦЕНКА ДЫМОСОЗДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ВПЭ-1

БЕЛИКОВ А. С.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*,

ШАЛОМОВ В. А.<sup>2</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,

КОРЖ Е. Н.<sup>3</sup>, *аспир.*,

РАГИМОВ С. Ю.<sup>4</sup>, *канд. техн. наук, доц.*

<sup>1</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49005, Украина, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49005, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

<sup>3</sup>Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49005, Украина, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: pankorzh@i.ua ORCID ID: 0000-0002-2421-3137

<sup>4</sup>Кафедра организации и технического обеспечения аварийно-спасательных работ, Национальный университет гражданской защиты Украины, ул. Чернышевская, 94, Харьков, Украина, 61023, тел +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

**Аннотация. Постановка проблемы.** Разработка защитного состава для строительных конструкций при действии высоких температур и изучение его дымообразующей способности и токсичности. Проведен аналитический обзор основных групп защитных средств, снижающих горючесть деревянных строительных конструкций, дана оценка их технических характеристик, а также в соответствии с ГОСТ 12.1.044-89 «ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» определены огнезащитные и санитарно-технические показатели разработанного защитного покрытия. **Результаты.** Разработана композиция защитного вспучивающегося покрытия, образующего на защищаемой поверхности тонкий непрозрачный слой, препятствующий воспламенению и распространению пламени по деревянной конструкции. Подбор состава огнезащитной композиции проводился по схеме «вяжущее – вспучивающаяся добавка – наполнитель». За основу покрытия взято жидкое стекло, потому что оно имеет такие положительные характеристики как доступность, связанная с проявлением жидким стеклом вяжущих свойств, – способности к самопроизвольному твердению с образованием искусственного силикатного камня. Добавление в жидкое стекло таких компонентов как перлит, графит и эпоксидная смола, учитывая их положительные характеристики по воздействию высоких температур, позволили получить новый огнезащитный состав. Для огневых испытаний использовали установку по определению коэффициента дымообразования веществ и материалов. Суть метода испытаний заключалась в определении оптической плотности дыма, который образуется во время пламенного горения или тления образца. Испытания проводили в двух режимах. В режиме тления на образец действует тепловой поток поверхностной плотностью 35 кВт/м<sup>2</sup>, а в режиме пламенного горения – тепловой поток и пламя газовой горелки. Исследования по определению дымообразующей способности показали, что представленные образцы материала «Смесь для изготовления огнезащитных покрытий ВПЭ-1» относятся к материалам с умеренной дымообразующей способностью Д2. По результатам проведенных испытаний токсичности продуктов горения объект испытаний относится к классу малоопасных. **Научная новизна.** С учетом теоретических предположений проведен выбор исходных компонентов для нового защитного состава. **Практическая значимость.** Разработан новый негорючий вспучивающийся состав, который позволяет перевести горючие материалы в группу трудногорючих и повысить защиту строительных конструкций от действия высоких температур. На разработанную защитную композицию получен патент Украины на полезную модель.

**Ключевые слова:** пожар; вспучивающиеся огнезащитные составы; огнезащита древесины; дымообразование; токсичность

## ESTIMATION OF THE SMOKE-CREATING ABILITY AND TOXICITY OF PROTECTIVE COATING VPE-1

BELIKOV A. S.<sup>1</sup>, *Dr. Sc(Tech)., Prof.*,

SHALOMOV V. A.<sup>2</sup>, *Cand. Sc.(Tech), Assoc. Prof.*,

KORZH E. N.<sup>3</sup>, *Graduate Student*,

RAGIMOV S. Yu.<sup>4</sup>, *Cand. Sc.(Tech), Assoc. Prof.*

<sup>1</sup>Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2</sup>Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov1709@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

<sup>3</sup>Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: pankorzh@i.ua ORCID ID: 0000-0002-2421-3137

<sup>4</sup>Department of Organization and technical support rescue operations National University of Civil Defence of Ukraine, st. Chernyshevsky 94, Kharkiv, 61023, Ukraine, tel. +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0572-4465

**Abstract. Purpose.** Development of protective structure for building structures under the influence of high temperatures and studying its smoke-forming ability and toxicity. **Method.** In carrying out the research conducted an analytical review of major groups of protective agents that reduce the combustibility of wooden construction structures, gave an assessment of their technical characteristics, as well as in accordance with GOST 12.1.044-89 "OHSAS. Fire and

explosion of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for their determination", fire protection and sanitary-technical indicators of the developed protection coating are determined. **Results.** The authors developed a composition of flame-retardant coating that forms on a surface that "protects" a thin non-transparent layer that prevents inflammation and the spread of flame on a wooden structure. The selection of composition of fire protection composition was carried out according to the scheme "compound - the additive that is flowing - the filler". The basis of the coating is liquid glass, because it has such positive characteristics as accessibility, due to the manifestation of liquid glass adhesive properties - the ability to spontaneous hardening with the formation of artificial silica. Adding to the liquid glass such components as perlite, graphite and epoxy resin, taking into account their positive characteristics regarding the effect of high temperatures, allowed to obtain a new flame retardant composition. For firing tests, an installation was used to determine the coefficient of smoke formation of substances and materials. The essence of the test method was to determine the optical density of smoke that occurs during flame combustion or corrosion of the sample. Tests are conducted in two modes. In the mode of decay, for example, there is a heat flux with a surface density of 35 kW/m<sup>2</sup>, and in the mode of flame combustion - the heat flow and the flame of the gas burner. The conducted studies on determining the smoke-forming ability have shown that the samples provided by the material "Mixture for the production of fireproof coating VPE-1", belong to materials with moderate smoke-forming ability D2. According to the results of the testing of the toxicity of combustion products, it turns out that the object of testing is a little dangerous to the class. **Scientific novelty.** Taking into account the theoretical preconditions, the choice of output components for a new fire protection composition has been carried out. **Practical meaningfulness.** A new non-flammable spillway structure has been developed that allows the transfer of combustible materials to a group of severely damaging substances and increases the protection of building structures against the effects of high temperatures. The developed protective composition received the patent of Ukraine for a useful model.

**Keywords:** fire; extinguishing flame retardants; fire protection of wood; smoke formation; toxicity

**Постановка проблеми.** Згідно зі статистичними даними, упродовж 9 місяців 2017 року в Україні в середньому виникало щодня до 260 пожеж, унаслідок яких гинуло п'ятеро і отримували травми четверо людей, вогнем знищувалося або пошкоджувалося 73 будівлі та 12 одиниць техніки. Щоденні економічні втрати від пожеж становлять суму 21 млн 669 тис. грн [2].

Одна з жахливих пожеж 2017 року відбулася в м. Одеса в ніч на 16 вересня – загорівся один із корпусів дитячого табору "Вікторія". Вогонь повністю знищив один із дерев'яних корпусів. У момент загоряння там перебували 42 дитини. Дітей евакуювали, однак трьох дівчаток урятувати не вдалося. Однією з головних причин пожежі вважається неякісне нанесення вогнезахисних композицій.

У зв'язку з цим цілком актуальним бачиться прагнення уникнути цього лиха за допомогою спеціальних заходів, вартість яких складає до 15 % повної вартості споруд та до 35 % вартості конструкцій, що підлягають вогнезахисту. Більш за все забезпечується пожежна безпека несних, горищних, огорожувальних конструкцій з деревини.

**Мета статті.** У науково-дослідній лабораторії кафедри безпеки життєдіяльності ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та

архітектури» ведуться роботи з підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій. На разі розроблено низку ефективних вогнезахисних речовин, які застосовуються нині на об'єктах народного господарства з метою зниження їх пожежної небезпеки.

**Виклад матеріалу.** В результаті проведених досліджень було визначено речовини захисного покриття для підвищення експлуатаційних властивостей дерев'яних конструкцій в осередку дії високих температур.

З урахуванням захисної здатності покриття та атмосферостійкості в суміш композиції було запропоновано ввести крім рідкого скла епоксидну смолу, що дозволило за високої вогнезахисній здатності покриття за дії високих температур (10–15 раз), підвищити атмосферостійкість в 1,5 раза.

Для визначення безпечного застосування покриття проведено дослідження із визначення димотвірної здатності та токсичності. Загальний вигляд установки наведено на рисунку 1.

Для випробувань використовували установку з визначення коефіцієнта димоутворення речовин та матеріалів згідно з п. 4.18 ГОСТ 12.1.044-89 (атестат № 18/25-16, термін дії атестата до 11.2018 року) [1].



Рис. 1. Установа для термогравіметричних досліджень ефективності вогнезахисту засобів для вогнезахисту деревини

Суть методу випробувань полягала у визначенні оптичної густини диму, який утворюється під час полуменевого горіння або тління зразка. Випробування проводять у двох режимах. У режимі тління на зразок діє тепловий потік поверхневою густиною  $35 \text{ кВт/м}^2$ , а у режимі полуменевого горіння – тепловий потік та полум'я газового пальника.

Коефіцієнт димоутворення ( $D_m$ ) в  $\text{м}^2/\text{кг}$  визначається за формулою [4; 5]:

$$D_m = \frac{V}{L_m} \cdot \ln \frac{T_0}{T_{\min}}, \quad (1)$$

де  $V$  – об'єм камери вимірювання,  $0,52 \text{ м}^3$ ;  $L$  – шлях проходження проміння світла в диму,  $0,8 \text{ м}$ ;  $m$  – маса зразка,  $\text{кг}$ ;  $\frac{T_0}{T_{\min}}$  – відповідно значення початкового та кінцевого світлопропускання, %.

Результати випробувань із визначення коефіцієнта димоутворення згідно з п. 4.18 ГОСТ 12.1.044-89 зразків матеріалу «Суміш для виготовлення вогнезахисного покриття ВПЕ-1», наведено у таблиці 1.

Максимальна похибка вимірювання маси склала  $\pm 0,001 \text{ г}$ .

Середнє значення коефіцієнта димоутворення випробуваних зразків у режимі тління становить  $193 \text{ м}^2/\text{кг}$ , в режимі полуменевого горіння –  $113 \text{ м}^2/\text{кг}$ . На підставі п. 2.14.2 ГОСТ 12.1.044-89 надані зразки матеріалу «Суміш для виготовлення вогнезахисного покриття ВПЕ-1» належить

до матеріалів із помірною димотвірною здатністю Д2.

Показники токсичності полімерних матеріалів були визначені у Державному підприємстві «Український науково-дослідний інститут медицини транспорту» (ДП УкрНДІ МТ).

Таблиця 1  
Результати випробувань із визначення коефіцієнта димоутворення

Номер зразка	Режим випробування	Маса зразка, кг	Світлопропускання, %		Коефіцієнт димоутворення ( $D_m$ ) для кожного зразка, $\text{м}^2/\text{кг}$
			початковий	кінцевий	
1	Тління	0,002343	100	50	192,3
2		0,002361	100	48	202,1
3		0,002336	100	52	182,0
4		0,002357	100	49	196,7
5		0,002348	100	50	191,9
Середнє значення (округлено до цілого числа)					193
6	Горіння	0,002349	100	67	110,8
7		0,002352	100	66	114,8
8		0,002344	100	67	111,1
9		0,002337	100	68	107,3
10		0,002360	100	64	122,9
Середнє значення (округлено до цілого числа)					113

Згідно з п. 4.20 ГОСТ 12.1.044-89, програма робіт включала санітарно-хімічні та токсикологічні випробування досліджуваного об'єкта в двох температурних режимах: термоокиснювальної деструкції ( $\approx 450 \text{ }^\circ\text{C}$ ) та полум'яного горіння ( $\approx 750 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Зразки кондиціювали згідно з вимогами у лабораторних умовах протягом 14 діб.

Результати санітарно-хімічних випробувань наведені у таблиці 2.

Таким чином, у процесі горіння об'єкта випробувань у повітрі експозиційної камери був визначений оксид вуглецю (II) та водень хлористий у концентраціях, що можуть викликати гостре отруєння експериментальних тварин, а також азоту оксиди (у перерахунку на оксид азоту (IV)), бензол, вуглець чотирехлористий, оксид вуглецю (IV), фенол і формальдегід. З визначених речовин бензол, водень хлористий, вуглець чотирехлористий, фенол і формальдегід належать до другого класу, всі інші речовини належать до третього та четвертого класів небезпеки.

Крім того, у ДП УкрНДІ МТ проведено токсикологічні випробування розроблених захисних покриттів.

Мета токсикологічних випробувань – визначення показника токсичності ( $H_{CL50}$ ), який характеризується як відношення кількості матеріалу до одиниці об'єму

замкнутого простору, продукти горіння піддослідних тварин [3].  
якого спричинюють загибель 50 %

Таблиця 2

**Міграція компонентів під час моделювання умов горіння об'єкта випробувань**

Компонент	Вміст в продуктах горіння, мг/г				Клас небезпеки за ГОСТ 12.1.007-76
	Результат вимірювання	Абсолютний довірчий інтервал (P = 0,95)	Результат вимірювання	Абсолютний довірчий інтервал (P = 0,95)	
Азоту оксиди (у перерахунку на оксид азоту (IV))	0,14	0,01	0,23	0,02	
Аміак	н.в.*	н.в.	н.в.	н.в.	
Бензол	2,4	0,2	0,9	0,1	
Водень хлористий	1,2	0,1	0,4	0,05	
Вуглець чотирихлористий	1,9	0,2	н.в.	н.в.	
Водень ціанистий	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	
Оксид вуглецю (IV)	460	68	680	70	
Оксид вуглецю (II)	19	2	44	3	
Стирол	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	
Сірчаний ангідрид	н.в.	н.в.	н.в.	н.в.	
Фенол	0,15	0,2	0,06	0,008	
Формальдегід	0,09	0,01	н.в.	н.в.	
Хлорбензол	1,7	0,2	н.в.	н.в.	
Втрата маси, %	74		81		

\* н.в. – не визначено

У кожному температурному режимі знаходили ряд значень залежності загибелі тварин від відношення маси зразку до об'єму експозиційної камери, який використовували для розрахунку показника токсичності  $H_{CL50}$  за допомогою пробіт-аналізу. Масову частку карбоксигемоглобіну в крові лабораторних тварин визначали спектрофотометричним методом (ГОСТ 12.1.044-89).

Результати токсикологічних випробувань наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

**Результати токсикологічних випробувань**

Позначення температурного режиму випробування	450 <sup>0</sup> C	750 <sup>0</sup> C
	Результат випробування	Не досягнуто
	Н <sub>CL50</sub> , г/м <sup>3</sup>	61,5±3,1
	Н <sub>2</sub> СО, %	-

За результатами проведених випробувань токсичності продуктів горіння виходить, що значення  $H_{CL50}$  не досягнуто за температура 450<sup>0</sup>C і максимальної насиченості простору випробувальної

установки 160 г/м<sup>3</sup>. Найменше значення  $H_{CL50}$  виявилось за температурного режиму 750<sup>0</sup>C і дорівнює 157,9 ± 9,8 г/м<sup>3</sup>. Тому значення  $H_{CL50}$  за температурному режиму 750<sup>0</sup>C використане для встановлення величини показника токсичності продуктів горіння. Згідно з класифікацією за п. 2.16.2 ГОСТ 12.1.044-89 об'єкт випробувань належить до класу малонебезпечних.

**Висновок.** На основі проведеного аналітичного огляду основних груп вогнезахисних засобів, що підвищують межу вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій, розроблено новий вогнезахисний склад, який спучується на основі рідкого скла. Визначено вогнезахисні та санітарно-технічні властивості розробленого вогнезахисного покриття. Об'єкт випробувань належить до класу малонебезпечних, до матеріалів із помірною димотвірною здатністю Д2.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Корольченко А. Я. Средства огнезащиты : справочник / А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко. – Москва : Пожнаука, 2006. – 258 с.
2. Повышение огнестойкости деревянных строительных конструкций за счет снижения горючести древесины / А. С. Беликов, В. А. Шаломов, Е. Н. Корж, С. Ю. Рагимов // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Придн. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепр, 2017. – Вып. 98. – С. 38–45. – (Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве).

3. Cadorin J. F. Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time / Cadorin J. F., Perez Jimenez C., Franssen J. M // Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. University of Ulster. – 2006. – P. 547–557.
4. Dou H. S. Simulation of detonation wave propagation in rectangular duct using three dimensional WENO scheme / Dou H. S., Tsai H. U., Khoo B. Ch. // Combustion & Flame. – 2012. – V. 154. – P. 644-647.
5. Roitman V. M. Fire testing of Building Materials in View of the Moisture Factor / Roitman V. M. // First European Symposium of Fire Safety Science (Abstracts). – Zurich : Zurich ETH., 2005. – P. 135–136.

## REFERENCES

1. Korolchenko A.Ya. and Korolchenko O.N. *Sredstva ognезashhity* [Means of fire protection]. Moskva: Pozhnauka, 2006, 258 p. (in Russian).
2. Belikov A.S., Shalomov V.A., Korzh E.M. and Ragimov S.Yu. *Povyshenie ognestojkosti derevyannykh stroitelnykh konstruksij za shhet snizheniya goryuchesti drevesiny* [Increase of fire resistance of wooden building structures due to reduction of flammability of wood]. *Energetika, ekologiya, komp'yuternye tekhnologii v stroitel'stve* [Energetics, ecology, computer technologies in construction]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arxitektury [Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipro, 2017, iss. 98, pp. 38-45. (in Russian).
3. Cadorin J.F., Perez Jimenez C. and Franssen J.M. *Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time*. Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. University of Ulster, 2011, pp. 547–557.
4. Dou H.S., Tsai H.U. and Khoo B.Ch. *Simulation of detonation wave propagation in rectangular duct using three dimensional WENO scheme*. Combustion & Flame. 2012, vol. 154, pp. 644-647.
5. Roitman V.M. *Fire testing of Building Materials in View of the Moisture Factor*. First European Symposium of Fire Safety Science (Abstracts). Zurich: Zurich ETH, 2005, pp. 135–136.

Рецензент: Дерев'янюк В. М., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 20.09.2017 р.

Прийнята до друку: 27.09.2017 р.