

УДК 691:699.218

DOI: 10.30838/P.СММ.2415.250918.50.130

ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ВІД ВПЛИВУ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

БЕЛІКОВ А. С.¹, д.т.н., проф.,КОРЖ Є. М.², аспірант,ШАРАНОВА Ю.Г.³, ст. викл.,КАРАСЬОВ О.Г.⁴, к.т.н., доц.

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

² Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, м. Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: rap-korzh@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-2421-3137

³ Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, м. Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: Sharanova2013@mail.ua ORCID ID: 0000-0002-4626-0327

⁴ Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, м. Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: karasev.alexey@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-1294-8021

Ціль. При розробці захисних покриттів для захисту будівельних конструкцій при дії високих температур необхідно визначити необхідні матеріали, які в комплексі вирішують головну задачу забезпечення безпечної експлуатації будівельних конструкцій. **Методи.** При виконанні досліджень проводився аналітичний огляд основних груп захисних засобів, які знижують горючість дерев'яних будівельних конструкцій, дана оцінка 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.** Авторами були проведені дослідження вхідних матеріалів: рідке скло, епоксидна смола, графіт, перліт, зола-унос. Підбір складу вогнезахисної композиції проводився за схемою «сполучник – добавка, що спучується - наповнювач». За основу покриття взято рідке скло, через те що воно має такі позитивні характеристики як доступність, пов'язано 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 епоксидної смоли, беручи до уваги їх позитивні характеристики щодо дії високих температур, дозволили отримати новий вогнезахисний склад. Для вогневих випробувань використовували установку по визначенню 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/м², а у режимі полуменевого горіння – тепловий потік та полум'я газового пальника. Проведені дослідження по визначенню димоутворюючої здатності показали, що надані зразки матеріалу «Суміш для виготовлення вогнезахисного покриття ВПЕ-1», належить до матеріалів з помірно димоутворювальною здатністю Д2. За результатами проведених випробувань токсичності продуктів горіння виходить, що об'єкт випробувань відноситься до класу мало небезпечних. **Наукова новизна.** Проведений вибір вхідних компонентів, які дозволяють проводити цілеспрямований вибір захисних покриттів під впливом високих температур. **Практична значимість.** Розроблено новий негорючий склад, що спучується, який дозволяє перевести горючі матеріали в групу важкогорючих і підвищити захист будівельних конструкцій від впливу високих температур. На розроблену захисну композицію одержано патент України на корисну модель.

Ключові слова: пожежа; вогнезахисні склади, що спучуються; вогнезахист деревини; димоутворення; токсичність

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

БЕЛИКОВ А. С.¹, д.т.н., проф.,КОРЖ Е. Н.², аспирант,ШАРАНОВА Ю.Г.³, ст. преп.,КАРАСЕВ А.Г.⁴, к.т.н., доц.

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

² Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, Украина, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: pankorzh@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-2421-3137

³ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, г. Днепр, Украина, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: Sharanova2013@mail.ua ORCID ID: 0000-0002-4626-0327

⁴ Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, м. Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: karasev.alexey@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-1294-8021

Цель. При разработке защитных покрытий для защиты строительных конструкций при воздействии высоких температур необходимо определить необходимые материалы, которые в комплексе решают главную задачу обеспечения безопасной эксплуатации строительных конструкций. **Методы.** При выполнении исследований проводился аналитический обзор основных групп защитных средств, которые снижают горючесть деревянных строительных конструкций, дана оценка их технических характеристик, а также в соответствии с ГОСТ 12.1.044-89 «ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалы. Номенклатура показателей и методы их определения» определено огнезащитные и санитарно-технические показатели разработанного защитного покрытия. **Результаты.** Авторами были проведены исследования исходных материалов: жидкое стекло, эпоксидная смола, графит, перлит, зола-унос. Подбор состава огнезащитной композиции проводился по схеме «союз - добавка, вспучивается - наполнитель». За основу покрытия взято жидкое стекло, потому что оно имеет такие положительные характеристики как доступность, связано с проявлением жидким стеклом вяжущих свойств - способности к самопроизвольному твердения с образованием искусственного силикатного камня. Добавление в жидкое стекло таких компонентов как перлит, графит и эпоксидной смолы, 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/м², а в режиме пламенного горения - тепловой поток и пламя газовой горелки. Проведенные исследования по определению дымообразующей способности показали, что представленные образцы материала «Смесь для изготовления огнезащитных покрытий ВПЭ-1», относится к материалам с умеренной дымообразующей способностью Д2. По результатам проведенных испытаний токсичности продуктов горения – объект испытаний относится к классу мало опасных. **Научная новизна.** С учетом теоретических предпосылок проведен выбор исходных компонентов для нового защитного состава. **Практическая значимость.** Проведенный выбор входных компонентов, которые позволяют проводить целенаправленный выбор защитных покрытий под воздействием высоких температур. Разработан новый негорючий состав, вспучивается, который позволяет перевести горючие материалы в группу труднгорючих и повысить защиту строительных конструкций от воздействия высоких температур. На разработанную защитную композицию получен патент Украины на полезную модель.

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

THE CHOICE OF MATERIALS FOR THE DEVELOPMENT OF PROTECTIVE COATINGS FROM HIGH TEMPERATURES

BELIKOV A. S.¹, *Dr. Sc(Tech).*, *Prof.*,
KORZH E. N.², *Doctoral Student*,
SHARANOVA U.G.³, *Senior Teacher*,
KARASEV A.G.⁴, *Ph.D. (Tech)*, *Assoc. Prof.*

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

² Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-57, e-mail: pankorzh@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-2421-3137

³ Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-57, e-mail: Sharanova2013@mail.ua ORCID ID: 0000-0002-4626-0327

⁴ Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo st., Dnipro, 49600, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-57, e-mail: karasev.alexey@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-1294-8021

Purpose. When developing protective coatings to protect building structures when exposed to high temperatures, it is necessary to determine the necessary materials, which together solve the main task of ensuring the safe operation of building structures. **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 have conducted studies of raw materials: liquid glass, epoxy resin, graphite, perlite, fly ash. 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/m², 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.** The selection of input components that allow a targeted selection of protective coatings under high temperatures. Practical significance. A new non-flammable composition has been developed, which is expanded, which allows to transfer combustible materials to a group of slow-burning and to increase the protection of building structures from 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 об'єктах народного господарства з метою зниження їх пожежної небезпеки.

Постановка проблеми

Згідно статистичних даних упродовж 9-ти місяців 2017 року в Україні в середньому виникало щодня до 260 пожеж, унаслідок яких гинуло 5 і отримували травми 4 людини, 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 місті Одеса в ніч на 16 вересня – загорівся один із корпусів дитячого табору "Вікторія". Вогонь повністю знищив один з дерев'яних корпусів. У момент загоряння там перебували 42 дитини. Дітей евакуювали, однак трьох із них врятувати не вдалося. Однією з головних причин вважається не якісне нанесення вогнезахисних композицій.

В зв'язку з цим цілком актуальним є прагнення уникнути цього лиха завдяки проведенню спеціальних заходів, вартість яких складає до 15 % повної вартості споруд та до 35 % вартості конструкцій, що підлягають вогнезахисту. Більш за все забезпечується пожежна безпека несучих, горючих, огорожувальних конструкцій з деревини.

Мета статті

В науково-дослідній лабораторії кафедри безпеки життєдіяльності ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» ведуться роботи з підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій. На сьогоднішній день розроблено ряд ефективних вогнезахисних складів, які застосовуються в даний час на

Виклад матеріалу

При розробці захисних композицій на основі рідкого скла одним з компонентів-диспертного наповнення нами була використана зола-винесення. Зола-винесення є тонкодисперсним матеріалом, який, складається з частинок розміром до 0,14 мм, утворюється в результаті спалювання твердого палива ТЕЦ, після чого вловлюється електрофільтрами і в сухому стані за допомогою пневмотранспорту надходить в силоси накопичувачі. Склад і будова золи залежить від багатьох факторів, таких як вид палива, що спалюється, його зольність, тонкість помелу при його підготовці, хімічний склад мінеральної частини палива і т.д.

У наших дослідженнях застосовували золу Придніпровської ТЕЦ [2-3]. Хіміко-мінералогічний склад золи-винесення наведено в табл. 1.

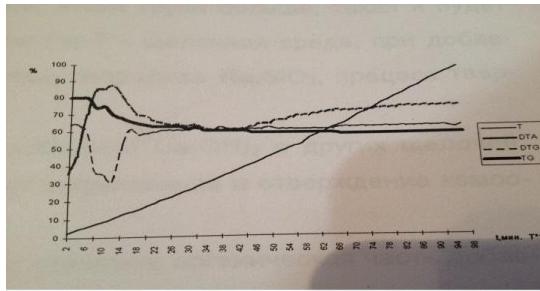
Таблиця 1.

Хіміко-мінералогічний склад золи-винесення

Вміст окислів, % за масою					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₃ O ₄	K ₂ O + Na ₂ O
39.5-62.7	13.5-35.5	2.5-5.9	1.5-4.3	8.5-12.8	2.1-3.5

Відбуваються структурні зміни жідкостекольних композицій із золою-винесення підтверджуються диференційно-термічним і рентгено-структурним аналізами (рис. 1., 2).

Рис.1. Дериватограмма жидкостекольной композиції з золю



ної композиції з золю винесення в інтервалі температур при різних температурах (20, вали температур 20-1000 °C) / Derivatogramm of fluid-glass compositions with the ash of noі composition with the ash of taking away in nterejection away at different temperatures (20, вали the temperatures 20-1000 °C)

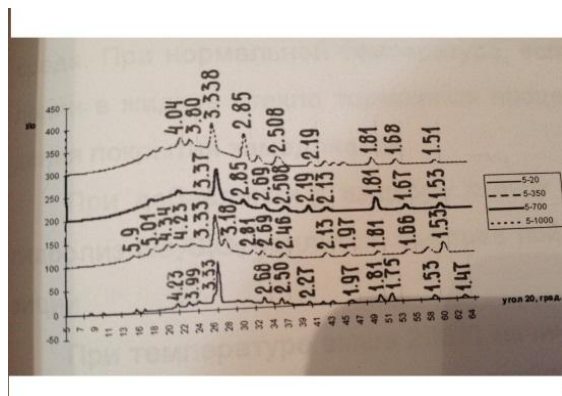


Рис. 2.. Рентгенівські дифрактограми / X-ray photography diffractograms

При 20 °C на дифрактограмі відзначені: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ $c d = 5.33, 4.6, 3.97, 3.075, 2.92, 2.69, 2.440, 2.27, 2.04, 1.98, 1.75 \text{ \AA}$, пройдена карбонізує Na_2O в повітряному середовищі в часі. Відзначено зміст в рідкому склі SiO_2 (\downarrow кварц), $cd = 4.23, 3.37, 2.448, 2.271, 2.21, 2.97, 1.81, 1.67, 1.53 \text{ \AA}$. Виявлено фази: CaSi_5 $c d = 5.68, 3.4, 3.24, 2.82, 2.448, 1.67, 1.53 \text{ \AA}$; Al_2SiO_5 $cd = 5.34, 3.4, 2.92, 2.68, 2.58, 2.07, 1.87, 1.59 \text{ \AA}$; SiO_2 (\downarrow кварц), $cd = 4.230, 3.32, 2.458, 2.218, 1.98, 1.78, 1.67, 1.44 \text{ \AA}$. Частково виявлений $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$, $cd = 4.23, 3.93, 3.69, 3.32, 3.06, 2.90, 2.49, 2.20, 2.12, 1.75, 1.59, 1.53 \text{ \AA}$.

При нагріванні зразка до 15-35 °C виявлено присутність аморфного тіла і води, а при нагріванні до 140 °C відзначено виділення асорбованої води - максимум DTE і DTA, при температурі 350 °C втрата води становить 27%, а загальна втрата маси до 30%. На дифрактограмі при 350 °C спостерігаємо CaSiO_3 $c d = 5.91, 3.17, 2.46, 1.97, 1.66, 1.53 \text{ \AA}$; SiO_2 (α -кварц), $c d = 4.24, 3.30, 2.457, 2.12, 1.98, 1.80, 1.68, 1.53 \text{ \AA}$; α - Ca_2SiO_4 $c d = 3.78, 3.17, 2.46, 1.97, 1.66, 1.53 \text{ \AA}$; SiO_2 (α -кварц), $c d = 3.31, 2.458, 2.18, 1.98, 1.80, 1.66, 1.44 \text{ \AA}$; Al_2SiO_5 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$

SiO_2) $c d = 2.89, 2.68, 2.10, 1.58 \text{ \AA}$. При нагріванні від 350 до 560 °C відбувається повільна реакція по перебудові структури з поступовою аморфізацією (склування), збільшення і розширення аморфного гало і зменшення інтенсивності всіх піків. На DTA спостерігається повільний підйом кривої при $t > 570 \text{ }^\circ\text{C}$.

При досягненні 700 °C спостерігаються такі фази: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) $c d = 3.65, 3.05, 2.64, 2.460, 2.1, 1.84, 1.75, 1.68, 1.5, 1.48, 1.41 \text{ \AA}$; SiO_2 (α -кварц), $c d = 3.30, 2.256, 2.12, 1.82, 1.68, 1.55 \text{ \AA}$; α - Ca_2SiO_4 $c d = 3.31, 2.78, 2.47, 2.11, 1.806, 1.73, 1.68, 1.55 \text{ \AA}$; Al_2SiO_5 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) $c d = 5.33, 2.87, 2.47, 2.10 \text{ \AA}$.

При підвищенні температури до 1000 °C відбувається перебудова від аморфної фази в сторону кристалізації. Присутні ті ж фази, що і при температурі 700 °C: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) $c d = 4.02, 3.8, 3.2, 2.98, 2.69, 2.456, 2.30, 2.10, 1.97, 1.812, 1.68, 1.602 \text{ \AA}$; SiO_2 (α -кварц), $c d = 4.24, 3.30, 2.457, 2.12, 1.98, 1.80, 1.68, 1.53 \text{ \AA}$; α - Ca_2SiO_4 $c d = 3.78, 3.17, 2.46, 1.97, 1.66, 1.53 \text{ \AA}$; SiO_2 (α -кварц), $c d = 3.31, 2.458, 2.18, 1.98, 1.80, 1.66, 1.44 \text{ \AA}$; α - Ca_2SiO_4 $c d = 4.30, 3.8, 3.35, 2.85 \text{ \AA}$; Al_2SiO_5 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) $c d = 5.34, 3.80, 3.20, 2.49, 2.08, 1.68, 1.605 \text{ \AA}$.

Проведені дослідження показали, що в самій золі відбувається незначні структурні зміни. Введення золи-винесення в рідке скло трохи знизило величину спучування при температурному тиску знижується втрата маси до 45% в рідкій скляній масі. В даній композиції знаходиться значна кількість аморфних (застеклованного) речовин і частково субмакрорісталіческакая структура.

Як показали дослідження в якості наповнювача для підвищення термічних властивостей захисного покриття було запропоновано використовувати лускатий графіт виробництва "WinMax-Group" г. Київ, графіт лускатий Завальевський від компанії Stahlpro (Стахлпро), НВП, Запоріжжя (Україна) ТУ 5728-002-74206540- 2005 (ГОСТ 5279-74).

У табл. 2. наведено мінералогічний склад лускатого графіту

Таблиця 2.

Хімічний склад лускатого графіту

Матеріал (марка, ГОСТ, ТУ)	Формула
Природний графіт лускатий літейний ГЛ-1 ГОСТ 5279-74, ТУ 5728-002-74206540-2005	<p>C (Вуглець)</p>

У лускатих графітах кристали мають форму пластинок або листочків. Луска їх жирні, пластичні і мають металевий блиск. Застосування графіту для розробки покриття ґрунтується на наступних його властивості: стійкість до агресивних середовищ; стійкість до високих температур; висока змазує здатність. Температура плавлення графіту - 3845-3890°C при тиску від 1 до 0,9 атм.

Висновок. Проведені дослідження показали, що введення в захисну композицію золи-

винесення та графіту дозволяє регулювати не тільки технологічні властивості композиції, але і сприяє підвищення захисних властивостей за рахунок збільшення структурної міцності покриття після затвердіння і здатності до високої поризації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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. / Приднeпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепр, 2017. – Вып. 98 : Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. – С. 38-45.
3. Cadorin J. F., Perez Jimenez C., 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. P. 547–557.
4. Dou H. S., Tsai H. U., Khoo B. Ch. Simulation of detonation wave propagation in rectangular duct using three dimensional WENO scheme // Comb. Flame. 2012. V. 154. P. 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. ETH. 2005. —P. 135-136.

REFERENCES

1. Korolchenko A. Ya. and Korolchenko O. N. *Sredstva ognезashchity* [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 ognestoykosti derevyannyih stroitelnyih konstruksiy za schet snizheniya goryuchesti drevesinyi* [Increase of fire resistance of wooden building structures due to reduction of flammability of wood] *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie* – [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA. Dnipro, 2017, no. 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 // Comb. Flame. 2012. V. 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. ETH. 2005. - pp. 135-136.

Надійшла до редколегії 12.09.2018 р.