

*Р. Б. Веселівський, канд. техн. наук, Р. С. Яковчук канд. техн. наук,
О. О. Василенко канд. техн. наук, П. В. Семенюк
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАХИЩЕНИХ ГІПСОКАРТОННИМИ ПЛИТАМИ

В статті проведено огляд застосування енергоефективних матеріалів при зведенні будівель і споруд різного призначення. Розглянуто дослідні зразки огороджувальних конструкцій виготовлених з профільованого металу з наповнювачем із пінополістиролу товщиною 100 мм та двох додаткових шарів із гіпсокартону товщиною по 12,5 мм. Проведені експериментальні дослідження межі вогнестійкості дослідних конструкцій в печі для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівель та окремих вузлів їх стикових з'єднань. Наведено методику проведення вогневих випробувань. Представлено розподіл температур у дослідних зразках по їх товщині. Визначено межі вогнестійкості та обґрунтовано умови застосування дослідних зразків в будівлях та спорудах.

Ключові слова: вогнестійкість, теплоізолювальна здатність, піч для теплофізичних випробувань, гіпсокартон, огороджувальна конструкція.

Р. Б. Веселивский, Р. С. Яковчук, А. А. Василенко, П. В. Семенюк

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗАЩИЩЕННЫХ ГИПСОКАРТОННЫМИ ПЛИТАМИ

В статье проведен обзор применения энергоэффективных материалов при возведении зданий и сооружений различного назначения. Рассмотрены опытные образцы ограждающих конструкций изготовленных из профилированного металла с наполнителем из пенополистирола толщиной 100 мм и двух дополнительных слоев из гипсокартона толщиной 12,5 мм. Проведенные экспериментальные исследования предела огнестойкости опытных конструкций в печи для теплофизических испытаний малогабаритных фрагментов зданий и отдельных узлов их стыковых соединений. Представлена методика проведения огневых испытаний. Показано распределение температур в опытных образцах по их толщине. Определены границы огнестойкости и обоснованы условия применения опытных образцов в зданиях и сооружениях.

Ключевые слова: огнестойкость, теплоизолирующая способность, печь для теплофизических испытаний, гипсокартон, ограждающая конструкция.

R.B. Veselivskiy, R.S. Yakovchuk, O.O. Vasylenko, P.V. Semeniuk

EXPERIMENTAL RESEARCH OF ENCLOSING CONSTRUCTIONS FIRE RESISTANCE WITH PLASTERBOARD PANELS

The article deals with the application of energy efficient materials in construction of buildings and structures for various purposes. Enclosing constructions prototypes made of profiled metal with a filler of foamed polystyrene with a thickness of 100 mm and two additional layers of plasterboard with a thickness of 12.5 mm are considered. Experimental researches of fire resistance of prototypes in the oven for thermal testing of small fragments of buildings and individual units of their joints were carried out. Methodology for fire tests was described. Temperature distribution in prototypes by their thickness is presented. The boundaries of fire resistance were determined and conditions of application prototypes in buildings were justified.

Key words: fire resistance, thermal insulation capacity, furnace for thermal testing, plasterboard, enclosing construction.

Постановка проблеми. Умови і темпи подорожчання енергоресурсів спонукають до прийняття практичних рішень щодо економії енергії українськими інституціями, поле діяльності яких стосується будівництва та енергетичних об'єктів. Характеризується це тим, що Україна входить до першої десятки країн світу за об'ємами споживання природного газу. Фактично на долю України припадає споживання енергії в 2,1 рази більше ніж в середньому у світі. [1].

Для зменшення енерговитрат приймають різні економічні рішення, зокрема, зменшують втрати тепла, використовують відновні енергетичні джерела, а також впроваджують енергозберігаючі технології і енергоефективні матеріали для зведення будівель і споруд різного призначення [1].

До сучасних енергоефективних матеріалів ставляться вимоги, які виправдовують їх застосування порівняно із природними будівельними матеріалами з економічної точки зору.

Одними із таких ефективних альтернативних рішень є застосування в будівництві багатошарових огорожувальних конструкцій. На сьогодні виробництвом представлений широкий асортимент цього продукту (компанії Термобуд, Модуль, Ruuki, KINGSPAN та ін). Основною їх схожістю є те, що вони складаються з двох основних шарів, які визначають форму панелі, сприймають основне навантаження, в основному від власної ваги панелі, а також призначені для надання панелям конструктивної міцності та жорсткості. В ролі таких шарів найчастіше використовують профільований метал, проте є випадки використання сучасних композитних матеріалів, а саме магнезитових, OSB плит тощо [2]. В ролі наповнювача в таких конструкціях застосовують пінополістирол, мінеральну вату або ж пінополіуретан. Теплофізичні характеристики наповнювачів забезпечують високу теплоізоляцію, до прикладу стіна з такої панелі товщиною в 10 см забезпечить аналогічну теплоізоляцію, як і стіна з цегляної кладки товщиною близько 1 м. Найчастіше застосовуються плити з металевого профільованого металу із пінополістиролом. Така популярність зумовлена через їх дешевизну порівняно з іншими панелями, які представлені на ринку. Прикладом застосування таких багатошарових огорожувальних конструкцій є сучасні торгові та адміністративні центри, споруди роздрібною торгівлі на ринках, магазини, мобільні споруди для охорони чи представництва продажу нерухомості при новобудовах тощо.

Беззаперечно переваг у таких панелей багато, проте вони мають суттєвий недолік, який проявляється при випробуванні таких панелей на вогнестійкість. Середня межа вогнестійкості таких панелей становить в середньому 3 – 5 хв [3]. Це не дає змоги використовувати ці будівельні матеріали при зведенні багатоповерхових будівель або будівель вище V ступеня вогнестійкості [4], а також цього часу замало для того щоб провести евакуацію людей та матеріальних цінностей. Відомі також випадки пожеж із людськими втратами та значними матеріальними збитками, де були застосовані такі панелі, це зокрема пожежа в гіпермаркеті «Нова лінія» взимку 2011 р., пожежа на ринку будівельних матеріалів «Селянка» в м. Одесі у жовтні 2013 року, пожежа на Святошинському ринку в м. Київ взимку 2013 року та ін.

З огляду на вищесказане, актуальною є задача приведення межі вогнестійкості таких панелей до регламентованого рівня для можливості їх ефективного застосування при зведенні будівель та споруд різного призначення.

Для вирішення задачі було зроблено припущення щодо внесення в конструкцію звичайної сендвіч-панелі з профільованого металу та наповнювачем із пінополістиролу товщиною 100 мм двох додаткових шарів із гіпсокартону товщиною по 12,5 мм, оскільки гіпсокартон є одним з найдоступніших на ринку матеріалів та має вогнезахисні властивості з коефіцієнтом теплопровідності 0,1–0,15 Вт/м·К, який є прийнятним для теплоізолювальних матеріалів.

Дослідженнями в області вогнестійкості та вогнезахисту будівельних конструкцій займалися Демчина Б. Г., Качкар Є. В., Гивлюд М.М., Шмуклер В. С., Довбиш А. В., Новак С. В., Фомін С. Л., Половко А. П., та ін.

Метою роботи є обґрунтування можливості застосування багатошарових огорожувальних конструкцій запропонованого зразка на основі результатів експериментальних досліджень їх межі вогнестійкості.

Виклад основного матеріалу. Згідно із прийнятими припущеннями про можливість підвищення межі вогнестійкості описаної вище сендвіч-панелі за допомогою додаткових шарів із гіпсокартону, були проведені експериментальні дослідження попередньо виготовлених дослідних зразків (марка СПГ). Для експериментів було виготовлено два однакові зразки запропонованої стінової конструкції. Підбір поперечного перерізу дослідних зразків було обґрунтовано відповідно до результатів аналізу використання подібних стін в будівництві та відповідно до теплотехнічного розрахунку мінімально допустимого значення опору теплопередачі ($R_{q \min}$, м² К/Вт) огорожувальних конструкції житлових та громадських будівель [5]. При виготовленні експериментальних зразків було враховано популярність та відповідність отриманої панелі показників ціна/якість.

Дослідні зразки виготовлялися на стандартному обладнанні за технологічним регламентом на виготовлення сендвіч-панелей. Для виготовлення сендвіч-панелей було взято профільований метал товщиною 0,5 мм, пінополістирол марки ПСБ-С-35 товщиною 100 мм. До однієї із сторін сендвіч-панелі було прикріплено два шари гіпсокартону товщиною по 12,5 мм за допомогою вогнетривкого клею, оскільки гіпсокартон застосовується для обробки сендвіч-панелей всередині будівлі та виконує роль вогнезахисного шару. Розміри та конструктивне виконання експериментальних зразків відображено на рис. 1.

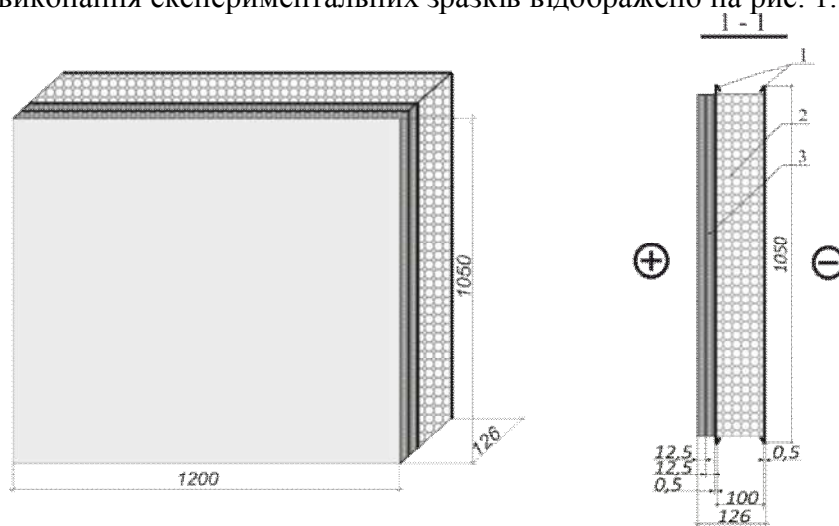


Рисунок 1 – Конструкція стіни марки СПГ-1,2:

а) – габаритні розміри; б) – переріз; 1 – листовая сталь; 2 – пінополістирол; 3 – гіпсокартон

Примітка: для усіх рисунків приймаємо: ⊖ – необігрівана сторона; ⊕ – обігрівана сторона.

Методика проведення експериментальних досліджень. Випробування проводилися згідно з методикою, яка відповідає діючим нормам в Україні [6]. Суть експериментальних досліджень полягала у визначенні проміжку часу від початку вогневого впливу до настання одного з граничних станів конструкції, за ознакою втрати теплоізолювальної здатності або цілісності в умовах, що регламентуються ДСТУ Б В.1.1-4-98* [6].

Експерименти проводились в печі для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівель та окремих вузлів їх стикових з'єднань (патент України на корисну модель № 17160 від 15.09. 2006 року) [3, 7]. Для проведення випробувань експериментальні зразки монтувалися у піч так, як зображено на рис. 2.

Усі вільні області в місцях стикування панелей з піччю були ущільнені за допомогою мінеральної вати та цементного розчину з метою герметизації середовища вогневої камери. Прилади вимірювання температури були ввімкнені з моменту початку експерименту до моменту досягнення критичної температури на зовнішній стінці кожного дослідного зразка. Протягом всього періоду часу проведення експериментальних досліджень проводилось візуальне спостереження за поведінкою дослідних зразків та здійснювалась фото- і відеозйомка місця проведення експериментів.

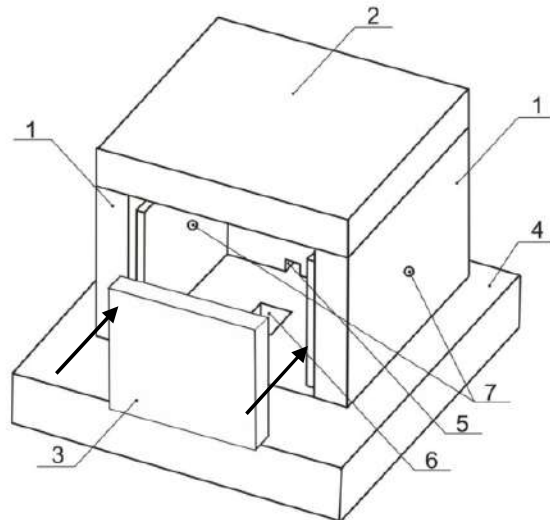


Рисунок 2 – Схема монтажу дослідних зразків в піч для проведення експериментів:
 1 – вогнева камера; 2 – горизонтальна кришка; 3 – дослідний зразок; 4 – днище;
 5 – отвір для факела форсунки; 6 – димовий канал; 7 – оглядові канали;
 8 – термопары в печі

Згідно з методикою [6] перед початком вогневого випробування в кожен зразок були вмонтовані термопары у площині поперечного перерізу по умовній лінії, яка знаходилась нижче від верхнього краю дослідного зразка на третину його висоти (рис. 4).

При проведенні експериментів важливим був контроль температури в печі та на дослідних зразках, який забезпечувався за допомогою комплекту з шести хромель-алюмелевих термопар $\varnothing 0,7$ мм та двох $\varnothing 1,5$ мм, довжина яких становить 2,6-3,0 м.

Згідно з методикою термопары встановлювались на зовнішніх сторонах панелей та на стиках окремих шарів всередині конструкцій. Всі датчі температури в печі та у експериментальних зразках були під'єднані до вимірювально-інтелектуального термоперетворювача марки ПВІ-0298 [8], робота якого контролювалася за допомогою персонального комп'ютера та відповідного програмного забезпечення. Зняття показів значень температур з усіх 8 термопар здійснювались кожні 5 секунд. Вимірювальний діапазон термопар знаходиться в межах від 10°C до 1020°C з точністю, яка відповідає вимогам п. 5.3 [6]. Схема підключення приладів під час проведення дослідів відображена на рис. 3.

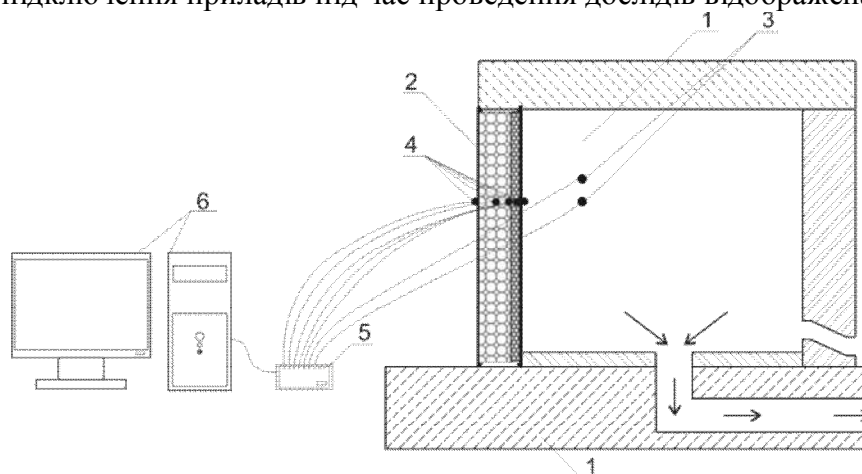


Рисунок 3 – Схема розміщення приладів:
 1 – універсальна вогнева камера; 2 – дослідний зразок фрагмента стіни; 3 – термопары в печі;
 4 – термопары в дослідному зразку; 5 – термоперетворювач; 6 – персональний комп'ютер
 Схема розміщення термопар в дослідних зразках марки СПГ відображені на рис. 4.

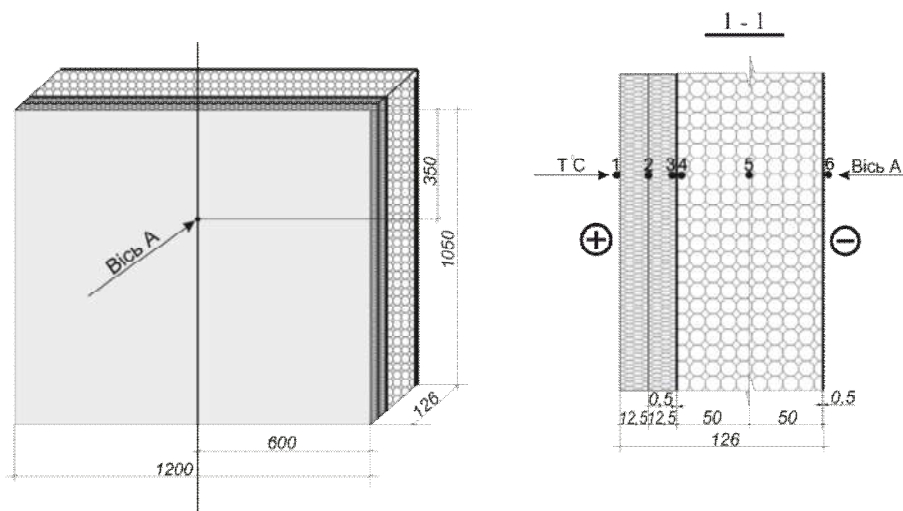


Рисунок 4 – Схема розташування термопар в зразках СПГ-1 та СПГ-2: 1-5 термопари

Експериментальне дослідження. За отриманими даними показів термопар у зразках та печі було побудовано графіки зміни температур у місцях їх встановлення (рис. 5, 6). Під час проведення експериментів у випробувальній печі було зафіксовано розбіжність температурного режиму печі із стандартним, тому було приведено реальну температуру печі до стандартної. Приведення здійснювалось за методом зіставлення площ між кривими, обмежених ординатами температур, при яких досягнуто один з граничних станів вогнестійкості, та осями абсцис [3].

На рис. 5. графічно відображено розподіл температур в зразку СПГ-1 під час проведення вогневих випробувань.

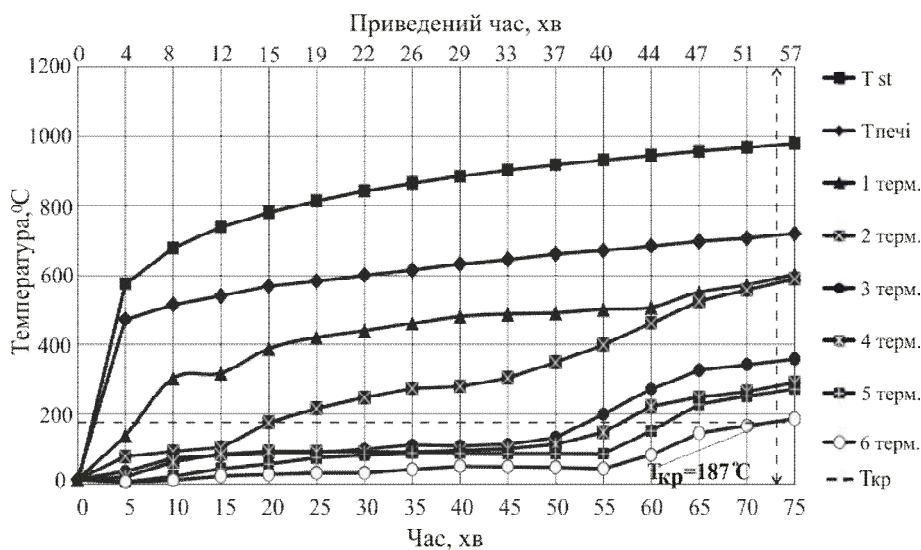


Рисунок 5 – Розподіл температур по товщині зразка марки СПГ-1 під час випробування: 1-6 – криві показів термопар, T_n – середнє арифметичне значення температури за показами двох термопар в печі, T_{st} – крива стандартного температурного режиму, $T_{кр}$ – критична температура на зовнішній (необігрівій) поверхні

Проаналізувавши рис. 5 бачимо, що межа вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності першого дослідного зразка наступила орієнтовно на 56-й хвилині проведення експерименту. При значенні критичної температури 187°C . ($T_{кр} = T_0 + 180^{\circ}\text{C} = 7 + 180 = 187^{\circ}\text{C}$, де $T_0 = 7^{\circ}\text{C}$ – початкова температура).

Схожі значення температур спостерігаються під час дублювання досліду на зразку СПГ-2 (рис. 6). Межа вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності насту-

пила на 53-й хвилині при значенні критичної температури: $T_{кр} = T_0 + 180^\circ\text{C} = 12 + 180 = 192^\circ\text{C}$, де $T_0 = 12^\circ\text{C}$ – початкова температура).

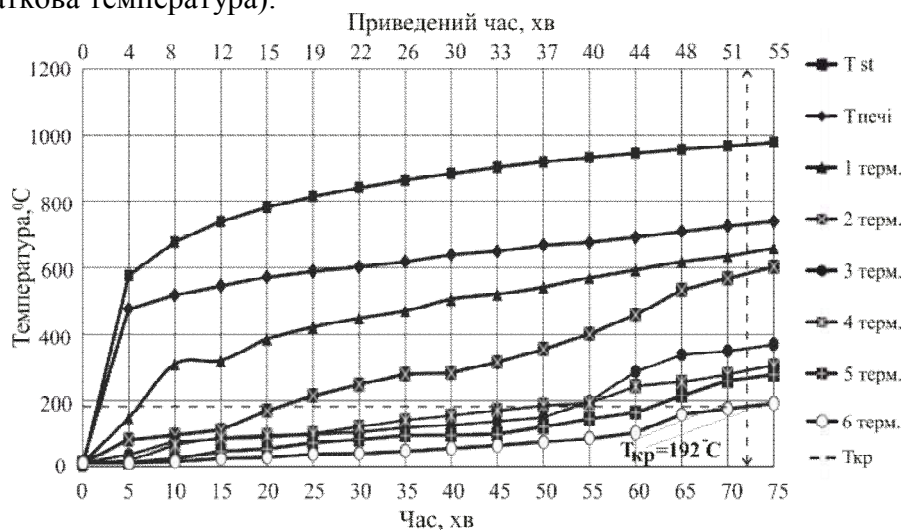


Рисунок 6 – Розподіл температур по товщині зразка марки СПГ-2 під час випробування: 1-6 – криві показів термопар, T_n – середнє арифметичне значення температури за показами двох термопар в печі, T_{st} – крива стандартного температурного режиму, $T_{кр}$ – критична температура на зовнішній (необігрівій) поверхні

Після проведення експериментальних досліджень та охолодження печі дослідні зразки були демонтовані з метою оцінки їх стану та проведення візуального огляду (рис. 7).



а)



б)

Рисунок 7 – Вигляд дослідних зразків типу СПГ-1, 2 після випробування
а) – СПГ-1; б) – СПГ-2

Результати візуального огляду двох дослідних зразків говорять про те що межа вогнестійкості цих зразків за ознакою втрати теплоізолювальної здатності і цілісності становить не менше 53 хв, оскільки на необігрівій стороні зразків були відсутні наскрізні прогорання та тріщини.

Висновки. Поряд із багатьма перевагами, такими, як широка область застосування, дешевизна порівняно з іншими будівельними матеріалами, доступність на ринку, простота монтажу та експлуатації, сандвіч-панелі з наповнювачем із пінополістиролу мають суттєвий недолік, а саме: низьку межу вогнестійкості, що створює великий ризик при рятуванні людей і матеріальних цінностей у випадку пожежі. Саме тому питання підвищення їх вогнестійкості на сьогодні є актуальними.

Результати експериментальних досліджень зразків типу СПГ-1, 2:

1. Межа вогнестійкості дослідних зразків типу СПГ-1, 2 товщиною 126 мм за ознакою втрати теплоізолювальної здатності та цілісності становила не менше 53 хвилин, тобто регламентована межа вогнестійкості сандвіч-панелі цього типу становить EI 45 [4].

2. Огороджувальні конструкції типу СПГ можна використовувати в якості зовнішніх несучих стін в будівлях III, IIIa, IIIб, IV, VIa, V ступенів вогнестійкості, внутрішніх несучих (перегородки) III, IIIa, IIIб, IV, VIa, V ступенів вогнестійкості [4].

Список літератури:

1. Альбом технічних рішень тепло- та звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових, громадських та промислових будинків та споруд на основі виробів зі скляного штапельного волокна Knauf Insulation з ECOSE Technology / Є.С. Колесник [та ін.] // Матеріали для проектування. – К.: ДП НДІБК, 2011. – 151 с.
2. Василенко А. А. / Экспериментальные исследования предела огнестойкости многослойных ограждающих конструкций с использованием магнезитовых плит / А. А. Василенко, Т. Е. Рак // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – Минск, 2013. – № 2 (18). – С. 172–181.
3. Експериментальне дослідження вогнестійкості багат шарових огорожувальних конструкцій / А. П. Половко [та ін.] // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів, 2011. – № 19. – С. 118–123.
4. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1-7-2002 – К.: Держбуд України, 2003. – 42 с. – (Нормативний документ Державного комітету України з будівництва та архітектури).
5. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31-2006 – [Чинний від 2007-04-01] – К.: Мінбуд України, 2006. – 65 с. – (Державні будівельні норми України).
6. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги: ДСТУ Б.В.1.1-4-98*. – [Чинний від 1999-03-01]. – К.: Держбуд України, 2005. – 22 с. – (Національний стандарт України).
7. Половко А. П. Вогнестійкість енергоефективних стінових огорожувальних конструкцій житлових та громадських будівель: дис. ... к-та техн. наук: 21.06.02 / Половко Андрій Петрович; Львів. держ. ун-т безп. життєдіял. – Львів, 2009. – 193 с.
8. Перетворювач вимірювальний інтелектуальний ПВІ-0298. Настанова з експлуатації. БАУИ. 405179.004 РЭ.

References:

1. Kolesnyk, Ye.S., Zaiets, V.P., Venzheho, H.S., Fedirko, K.S. and Kutuzov S.M. (2011) Album tekhnichnykh rishen teplo- ta zvukoizoliatsiyi ohorodzhuvalnykh konstruktсии zhytlovykh, hromadskykh ta promyslovykh budynkiv ta sporud na osnovi vyrobiv zi sklyanoho shtapelnoho volokna Knauf Insulation z ECOSE Technology [Album of technical solutions of heat and sound insulation of enveloping constructions of residential, public and industrial buildings and structures based on glass wool fibers Knauf Insulation with ECOSE Technology], State Enterprise "State Scientific Research Institute of Building Structures ", Kyiv, Ukraine.
2. Vasilenko, A. A. and Rak, T. Ye. (2013) "Experimental study of the fire resistance of multilayer enclosing constructions with magnesite slabs", *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus*, vol. 2, no. 18, pp. 172–181.
3. Polovko, A. P., Veselivskiy, R. B., Vasilenko, O.O. and Sheliukh, Yu. Ye. (2011) "Experimental study of fire resistance of multilayer enclosing wall structures", *Fire safety: scientific journal*, vol.19, pp. 118–123.
4. DBN V.1.1-7-2002 "Protection from fire. Fire safety of construction".
5. DBN V.2.6-31-2006 "Construction of buildings and structures. Heat insulation of buildings".
6. DSTU B.V.1.1-4-98* «Building designs. Methods of testing for fire resistance. General requirements».
7. Polovko, A.P. (2009) "Fire resistance of power effective enclosed constructions of residential and public buildings" Thesis abstract for Cand. Sc. (Engineering.). 21.06.02, Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine.
8. BAUI. 405179.004 RE. Intellectual measuring converter PVI-0298. Operating Guide.

