

**А. І. Березовський, к.т.н.,**  
ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ  
вул. Онопрієнко, 8, м. Черкаси, Україна  
[andrey82-07@mail.ru](mailto:andrey82-07@mail.ru)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ІНДЕКСУ ПОТЕНЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ВОГНЕЗАХИСНОГО ВІБРОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

*У статті висвітлено результати дослідження вогнезахисної здатності та індексу потенційної небезпеки вогнезахисного вібростійкого покриття металевих конструкцій. У результаті випробувань вогнезахисної здатності різних засобів лабораторним методом було встановлено, що час прогріву сталевих пластин до критичної температури 500 °С розробленого покриття перевищує час прогріву сталевих пластин до критичної температури засобу «Ендотерм ХТ-150» на 7 %, а покриття «Протерм Стіл» – на 18 %. За наявності відповідних статистичних даних за різними полімерними матеріалами, визначивши індекс потенційної небезпеки, визначається вплив компонентного складу композицій на пожежонебезпечність матеріалу.*

**Ключові слова:** вогнезахисна здатність, кисневий індекс, час прогріву, вогнезахисне вібростійке покриття.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день у будівництві дуже широко використовують будівельні матеріали з різними властивостями та характеристиками. Одним із основних матеріалів є метал. Для будівельних матеріалів вирішальне значення мають високі фізико-механічні та експлуатаційні властивості.

Металеві вироби та конструкції при дії на них високих температур втрачають теплоізоляційну і носівну здатності. Відповідно час вогнезахисту до настання цих критичних станів у цих умовах необхідно збільшувати. Одним із способів підвищення часу захисної дії металевих конструкцій є нанесення на їх поверхню вогнезахисних покриттів. Такі покриття сповільнюють динаміку прогрівання металу.

**Аналіз останніх джерел досліджень.** Проаналізувавши роботи вчених та характеристики вогнезахисних засобів, нами зроблено висновки, що всі ці засоби застосовують для вогнезахисту металевих конструкцій і виробів, які знаходяться переважно в статичному стані. При прикладенні навантажень до конструкцій, що змушують їх частково змінювати свою форму (згинання, деформація, вібрація), структура захисного покриття може повністю або частково змінюватися. Цим самим конструкції стають незахищеними від впливу високих температур. Тому напрямок розроблення вогнезахисних покриттів для протипожеж-

ного захисту металевих виробів та конструкцій в умовах вібрації є актуальним.

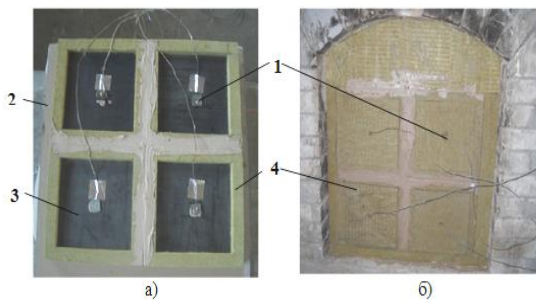
Раніше було висвітлено результати випробувань розробленого покриття для металевих конструкцій на вібропоглинальні властивості [1] і результати дослідження експлуатаційних та міцнісних характеристик [2-4]. Але основне призначення розробленого покриття – саме захист від впливу високої температури в умовах пожежі. Тому було проведено ряд досліджень вогнезахисної здатності розробленого покриття.

**Метою роботи** є дослідження показників вогнезахисної здатності розробленого вогнезахисного вібростійкого покриття (ВВП) та визначення індексу потенційної небезпеки компонентного складу композиції на загальну пожежонебезпечність матеріалу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Враховуючи практичну спрямованість роботи, для створення вогнезахисного покриття, що спучується, було обрано компоненти, які виробляються промисловістю України. Як сполучник використовували олігоефірциклокарбонатний олігомер марки Лапролат-803 (Л-803). Як модифікатор використовували епоксидановий олігомер марки ЕД-20, кремнійвмісний олігомер марки Т-111 і аліфатичний хлорвмісний епоксидний олігомер марки УП-655. Отвердіння проводили отверджувачем амінного типу діетилентриаміном (ДЕ-

ТА). Для зниження горючості полімерів використовували як антипірен наповнювач поліфосфат амонію (ПФА).

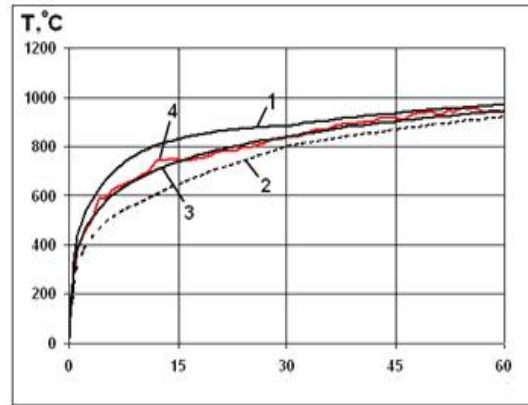
Для порівняльної оцінки вогнезахисної здатності при розробці та дослідженні спучуваних вогнезахисних покриттів, прогнозу межі вогнестійкості реальних конструкцій та контролю якості покриттів, які випускаються, доцільно застосовувати лабораторні методи дослідження, що дозволяють уникнути значних енерго- і матеріальних витрат на їх підготовку і проведення. Тому для оцінювання вогнезахисної здатності розроблюваних покриттів використовували вертикальну випробувальну піч, описану в ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010 [5]. За основний критерій оцінки вогнезахисних властивостей обрано час прогріву металеві поверхні зразка до критичної температури (500 °С для сталі) при тепловій дії на нього з боку вогнезахисного покриття у випробувальній печі. Зразками слугували сталеві пластини розміром 230×230 мм і товщиною 5 мм з нанесеними на них вогнезахисними покриттями. З необігріваного боку по центру сталевих пластин встановлювалася термопара типу ТХА, а сама сталева пластина закривалася теплоізоляційною базальтовою плитою Rockwool завтовшки 100 мм і щільністю 120 кг/м<sup>3</sup>. Пластини встановлювали в отвір опорної конструкції через теплоізоляційну вставку і далі вертикально у випробувальну піч (рис. 1).



**Рис. 1. Зразки (а):** 1 – термопара типу ТХА, 2 – опорна конструкція для зразків, 3 – сталева пластина з нанесеним вогнезахисним покриттям, 4 – теплоізоляційна плита Rockwool і вертикальна випробувальна піч (б)

Зміну температури у випробувальній печі зображено на рис. 2.

Отримана експериментально температура в печі (графік 4 рис. 2) перебуває між стандартною мінімальною і максимальною та практично збігається зі стандартною номінальною, тому поправка на температуру не потрібна.



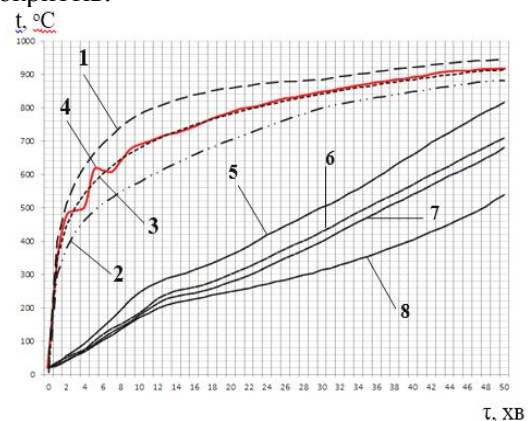
**Рис. 2. Зміна у випробувальній печі стандартної максимальної (1), стандартної мінімальної (2), стандартної номінальної (3) і середньої температури в печі (4)**

Було досліджено вплив компонентного складу епоксиретанового вогневібростійкого покриття та його товщини на його вогнезахисну ефективність. Для цього були випробувані зразки з покриттям, що містять МАФ та інтеркальований графіт – ІГAK-1.

Для порівняння розробленого покриття з сертифікованими покриттями, що застосовуються для вогнезахисту металів в Україні, використані дослідження вогнезахисних властивостей таких покриттів, як «Ендотерм ХТ-150» і «Протерм Стіл» [6].

Вони наносилися на зразок товщиною покриття 1 і 2 мм без попередньої ґрунтовки поверхні, для отримання результатів в однакових умовах.

На рис. 3 показано результати випробувань вогнезахисної здатності досліджуваних покриттів.



**Рис. 3. Зміна у випробувальній печі стандартної максимальної (1), стандартної мінімальної (2), стандартної номінальної (3) і середньої температури в печі (4). Зміна температури на стороні зразка, що не обігрівається, з покриттями «Протерм Стіл» 1 мм (5), «Ендотерм ХТ-150» 1 мм (6), ВВП 1 мм (7) і ВВП 2 мм (8)**

Середня температура в печі  $T_f$  визначається як середнє арифметичне показників термопар, що розміщені в печі. Допустимі відхилення  $d$  середньої температури в печі  $T_f$  від стандартного температурного режиму не повинні перевищувати таких значень:

- а)  $\pm 15\%$  для  $0 < t \leq 10$ ;
- б)  $\pm 15-0,5 (1-10)\%$  для  $10 < t \leq 10$ ;
- в)  $\pm 5 - 0,083 (t - 30)\%$  для  $30 < t \leq 60$ ;
- г)  $\pm 2,5\%$  для  $t > 60$ .

Відхилення  $d$  розраховували за формулою:

$$d = \frac{T_f - T_s}{T_s} \cdot 100\%. \quad (1)$$

де  $T_s$  – температура, що відповідає часу  $t$ , °С.

Похибка для кожної хвилини мала від’ємне значення, тому відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-4-98 приймається такою, що не впливає на достовірність результатів дослідження.

Наведені вище отримані дані показали, що час прогріву зразка з покриттям ВВП товщиною 2 мм до критичної температури 500°С становить 48 хв., що відповідає межі вогнестійкості R45 за табл. 4. ДБН В.1.1-7-2002. Час прогріву зразка покриттям ВВП товщиною 1 мм до критичної температури 500°С становить 37 хв.

Згідно з отриманими даними зразок із вогнезахисним складом «Протерм Стіл» товщиною 1 мм досяг критичної температури за 31 хв., а зразок зі складом «Ендотерм ХТ-150» товщиною покриття 1 мм – за 35 хв.

Спучений склад «Протерм Стіл» мав у край низьку міцність і адгезію до підкладки [6].

Таким чином, у результаті випробувань вогнезахисної здатності різних засобів лабораторним методом було встановлено, що час прогріву сталевих пластин до критичної температури 500 °С ВВП товщиною 1 мм становить 37 хв., що перевищує час прогріву сталевих пластин до критичної температури засобу «Ендотерм ХТ-150» на 7 %, а покриття «Протерм Стіл» – на 18 %.

У той же час міцність і адгезія пінококсу у розробленого складу більші, ніж у порівнюваних вогнезахисних покриттів.

Також було визначено індекс потенційної небезпеки вогнезахисного вібростійкого покриття.

Окремі автори [7–9] пропонують залучати результати комплексної оцінки пожежної небезпеки і токсикометрії матеріалів для визначення індексу потенційної небезпеки за такою формулою:

$$PHI = \frac{W_{\max} \cdot D_m \cdot \Delta H_c}{H_{CL50} \cdot KI \cdot T_{\max}}, \quad (2)$$

де:  $PHI$  – індекс потенційної небезпеки;  $W_{\max}$  – максимальний відсоток втрати маси на будь-якій 100-градусній ділянці кривої «температура – втрата маси»;  $D_m$  – питома оптична щільність диму;  $\Delta H_c$  – теплота згоряння;  $KI$  – кисневий індекс;  $T_{\max}$  – температура, відповідна максимальній втраті маси;  $H_{CL50}$  – показник токсичності продуктів горіння.

Нами проведено розрахунок індексу потенційної небезпеки ВВП на основі результатів визначення пожежної небезпеки та токсичності. Для порівняння були вибрані композиції горючого аналога ЕП і епоксиретанова композиція наповнена МАФ в кількості 25 мас.ч. Вихідні дані для розрахунку, отримані в результаті експериментальних досліджень, представлено у табл. 1.

Дані табл. 1 показують, що вогневібростійка епоксиретанова композиція ВВП є важкогорючим матеріалом з  $KI$ , що дорівнює 33 %. Зниження теплоти згорання в ВВП обумовлено збільшенням кількості дисперсних мінеральних наповнювачів (інтеркальованого графіту ІГAK-1 і поліфосфату амонію ПФА).

Склад ВВП і співвідношення його олигомер-олігомерної системи істотно не впливають на температуру займання і самозаймання. Спостерігається зниження індексу потенційної небезпеки в 2,5-3 рази порівняно з горючим аналогом на основі епоксиданової смоли за рахунок зниження міграції ціаністого водню, оксидів азоту і формальдегіду, коефіцієнта димоутворення при горінні (з 552 до 480 м<sup>2</sup>/кг), теплоти згорання (в 1,5 разу) та підвищення величини кисневого індексу (з 19 до 33 %).

Таким чином, за наявності відповідних статистичних даних за різними полімерними матеріалами, визначивши індекс потенційної небезпеки, визначається вплив компонентного складу композицій на пожежонебезпечність матеріалу.

Таблиця 1  
**Пожежна небезпека епоксиполімерів**

Показник (ГОСТ, ДСТУ)	Епоксиполімери		
	ЕП	ВВП	Л-803:ЭД-20: ПФА
Кисневий індекс, KI, % (ГОСТ 12.1.044–89, п. 4.14)	19	33	25
Нижня теплота згорання, $\Delta H_c$ , кДж/кг (ГОСТ 21261)	32060	19780	20520
Коефіцієнт димоутворення, $D_m$ , м <sup>2</sup> /кг, (ГОСТ 12.1.044–89, п. 4.18): при тлінні при горінні	1307 552,6	986 485	1087 493
	Температура: займання, °С (ГОСТ 12.01.044–89, п. 4.7) самозаймання, °С (ГОСТ 12.01.044–89, п. 4.9)	290 465	245 465
Максимальний відсоток втрати маси, $W_{max}$ , % (за даними термогравіметричного аналізу): при тлінні $T_{max} = 400^\circ\text{C}$ при горінні $T_{max} = 600^\circ\text{C}$	46,0 73,8	52,5 79,65	61,3 85,7
	Показник токсичності продуктів горіння, $H_{CL50}$ , г/м <sup>3</sup> (ГОСТ 12.1.044–89, п. 4.20): • при 450°С • при 750°С	65,5 86,1	55,6 88,5
Індекс потенційної небезпеки $RHI$ : • при тлінні • при горінні	3817 1313	1393 451	– –

**Висновок.** В результаті проведеного в роботі комплексу експериментальних і теоретичних досліджень вирішено актуальне наукове завдання, яке полягає у підвищенні вогнестійкості металевих будівельних конструкцій в умовах вібрації за рахунок застосування вогнезахисного вібростійкого покриття на основі епоксиполімерів.

#### Список літератури

1. Дослідження динамічних механічних і вібропоглинаючих властивостей епоксиретанових складів для вогневіброзахисту металевих виробів / А. І. Березовський,

- І. Г. Маладика, В. В. Зайвий [та ін.] // Пожежна безпека: теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси : АПБ, 2012. – № 10. – С. 18–27.
2. Оценка термоокислительной деструкции и горючести реакционноспособных олигомеров / А. И. Березовский, И. Г. Маладыка, Н. В. Саенко [и др.] // Пожежна безпека: теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси : АПБ, 2011. – № 7. – С. 16–20.
3. Сравнительный анализ состава продуктов горения и их токсичности эпоксидных и эпоксиуретановых полимерных вибропоглощающих огнезащитных составов / А. И. Березовский, И. Г. Маладыка, Ю. В. Попов [и др.] // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Львів : ЛДУБЖД, 2012. – № 20. – С. 27–31.
4. Березовский А. И. Определение зависимости коэффициента вспучивания и прочностных характеристик вспученного слоя огнезащитных вибростойких покрытий для металлических конструкций при разном содержании наполнителей / А. И. Березовский, И. Г. Маладыка, В. М. Гвоздь // Вісник Черкаського державного технологічного університету : зб. наук. праць. – Черкаси : ЧДТУ, 2013. – № 1. – С. 117–122.
5. Захист від пожежі. Вогнезахисне оброблення будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання : ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010. – [Чинний від 2011-09-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 14 с. – (Національний стандарт України).
6. Спіріна-Смілка О. Ю. Розробка епоксидних полімерних композиційних матеріалів низькотемпературного отвердіння для вогнезахисту будівельних конструкцій : дис. кандидата техн. наук : 21.06.02 / Спіріна-Смілка Олена Юріївна. – Харків, 2011. – 228 с.
7. Оценка пожарной опасности и токсичности эпоксиполимеров пониженной горючести / Р. А. Яковлева, В. В. Нехаев, Ю. В. Попов [и др.] // Полимерные материалы пониженной горючести : тезисы докл. V Междунар. конф., (Волгоград, 1–2 окт. 2003 г.). – Волгоград, 2003. – С. 77–78.
8. Аналітичні дослідження методів визначення токсичності продуктів горіння речовин та матеріалів / Л. М. Шафран, О. Д. Гудович, І. О. Харченко [та ін.] // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2004. – № 1 (9). – С. 38–54.

9. Влияние антипиренов на показатели пожарной опасности эпоксиполимерных материалов / Р. А. Яковлева, Е. Ю. Спирина-Смилка, Н. В. Саенко [и др.] // Проблемы пожарной безопасности : сб. науч. трудов. – Вып. 29. – Харьков : УГЗУ, 2011. – С. 175–181.

**References**

1. Berezovskii, A. I., Maladyka, I. H., Zaivyi, V. V. et al. (2012) Research of dynamic mechanic and vibration-absorbing properties of epoxy urethane compounds for fire and vibration protection of metal constructions. *Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktyka*: collection of scient. works. Cherkasy: APB, (10), pp. 18–27 [in Ukrainian].
2. Berezovskii, A. I., Maladyka, I. H., Saenko, N. V. et al. (2011) Estimation of thermal-oxidative degradation and burning quality of reactive oligomers. *Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktyka*: collection of scient. works. Cherkasy : APB, (7), pp. 16–20 [in Russian].
3. Berezovskii, A. I., Maladyka, I. H., Popov, Yu. V. et al. (2012) Comparative analysis of combustion products content and their toxic level of epoxy and epoxy urethane polymer vibration-absorbing fire retarding compounds. *Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktyka*: collection of scient. works. Lviv: LDUBZhD (20), pp. 27–31 [in Russian].
4. Berezovskii, A. I., Maladyka, I. H. and Gvozd, V. M. (2013) Determination of the dependence of intumescence coefficient and strength characteristics of foamed layer of fire retardant vibration-proof coatings for metal constructions with different filler content. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, (1), pp. 117–122 [in Russian].
5. Fire safety (2011) Flameproofing of building constructions. General requirements and monitoring techniques: USS-N-P B V.1.1-29:2010. [Efficient from 2011-09-01]. Kyiv: Minregionbud Ukrainy, 14 p. (National Standard of Ukraine) [in Ukrainian].
6. Spirina-Smilka, O. Yu. (2011) Working out of epoxy polymeric composite materials of low temperature hardening for fire protection of building constructions: dissertation for Ph.D.: 21.06.02. Kharkiv, 228 p. [in Ukrainian].
7. Yakovleva, R. A., Nekhaev, V. V., Popov Yu. V. et al. (2003) Estimation of fire risk and toxic property of epoxy polymers of reduced flammability. *Polimernye materialy ponizhennoy goryuchesti*: theses of V Internat. conf., (Volgograd, 1-2 Oct.). Volgograd, pp. 77–78 [in Russian].
8. Shafran, L. M., Gudovich, O. D., Kharchenko, I. O. et al. (2004) Analytical studies of methods for toxicity determination of combustion products and materials. *Naukovyi visnyk UkrNDIPB*, 1(9), pp. 38–54 [in Ukrainian].
9. Yakovleva, R. A., Spirina-Smilka, E. Yu., Saenko, N. V. et al. (2011) Influence of flame retardants on fire characteristics of epoxy polymer materials. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*: collection of scient. works, (29). Kharkov: UGZU, pp. 175–181 [in Russian].

**A. I. Berezovskii, Ph.D.,**  
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes  
of National University of Civil Protection of Ukraine  
Cherkasy, Onoprienko Str.8.  
[andrey82-07@mail.ru](mailto:andrey82-07@mail.ru)

**RESEARCH OF FIREPROOF CAPABILITY  
AND THE INDEX OF POTENTIAL THREAT OF FIRE RETARDANT  
VIBRATION-PROOF COATING OF METAL CONSTRUCTIONS**

*The research of fireproof capability and the index of potential threat of fire retardant vibration-proof coating of metal constructions is conducted in the article. In the result of testing of fireproof capability of different devices by laboratory method it is found out that the time of steel plates warming up to 500 °C of developed coating by 1 mm thickness is 37 minutes. That exceeds the time of steel*

plates warming to critical temperature of “Endotherm XT-150” to 7 %, and “Protherm Steel” coating – to 18 %. Furthermore the solidity and adhesion of coked cellular material of developed structure is bigger than in compared fire retardant coatings. The composition of developed coating and its matrix split doesn't influence crucially on the temperature of ignition and spontaneous ignition. Downward change in the index of potential threat in 2,5-3 times comparatively with flammable analogue on the basis of epoxy resin at the expense of decrease of the migration of hydrogen cyanide, nitrogen oxide and formaldehyde, smoke-developed index during firing (from 552 to 480 m<sup>2</sup>/kg), combustion heat (in 1,5 times) and elevation of oxygen index (from 19 to 33%) are observed.

**Keywords:** fireproof capability, oxygen index, time of warming, fire retardant vibration-proof coating.

*Стаття надійшла до редакції 27.10.2014.*

*Рецензенти:* Жартовський В. М., д.т.н., професор,  
Беліков А. С., д.т.н., професор.