



А. С. Беліков¹, К. А. Рибалка², П. М. Нажа³, О. П. Тодоров⁴

^{1,2,4} *Український державний університет науки і технологій ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, м. Дніпро, Україна*

³ *Український державний університет науки і технологій ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Інженерної геології і геотехніки, м. Дніпро, Україна*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5822-9682> – А. С. Беліков

<https://orcid.org/0000-0001-7049-6871> – К. А. Рибалка

<https://orcid.org/0000-0001-5852-0226> – П. М. Нажа

<https://orcid.org/0009-0003-2274-0560> – О. П. Тодоров



ryibalka.katerina@pdaba.edu.ua

ВОГНЕЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ ДЛЯ СТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ ТА ВЕРМИКУЛІТУ

Постановка проблеми. Аналіз статистичних даних Державної служби України з питань праці, Державної служби України з надзвичайних ситуацій та інших офіційних джерел довів, що однією з причин обрушення будівельних конструкцій і будівель в цілому є втрата їх несучої здатності внаслідок дії пожеж. Це пояснюється наявністю в будівлях і спорудах будівельних конструкцій та будівельних матеріалів, які не відповідають вимогам пожежної безпеки, що ускладнює їх довгострокову нормальну експлуатацію. Для підвищення межі вогнестійкості, зниження горючості матеріалів та зниження ризиків травматизму і втрат людських життів у випадку пожеж застосовуються різноманітні заходи й захисні засоби. Вибір конкретного методу захисту передусім залежить від функціонального призначення будівель і споруд, а також від типу будівельних конструкцій. Незважаючи на високу різноманітність вогнезахисних покриттів, актуальним залишається завдання розробки нових і дієвих способів підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій до нормативно визначених показників.

Мета. Проведення досліджень залежності адгезійної міцності покриття на основі портландцементу та вермикуліту від часу твердіння та компонентного складу вогнезахисного покриття і визначення його захисних властивостей.

Основні результати дослідження. При розробці захисного складу були проведені дослідження з вибору компонентів, після чого, з урахуванням виявлених недоліків ми дослідили вплив комбінації компонентів на адгезійну міцність, теплопровідність та захисну здатність до прогріву металу з покриттям з урахуванням товщини шару. На основі цих досліджень були установлені залежності, які дозволяють прогнозувати величину адгезійної міцності залежно від співвідношення компонентів та часу твердіння.

Висновки. Заявлений вогнезахисний спосіб дозволяє при товщині сухого шару 40 мм забезпечити вогнезахист металу до 180 хв. Таким чином, вогнезахисне покриття має при своїй високопористій структурі високу адгезійну міцність та високу стійкість до дії температурно-вологісних факторів із вологістю повітря понад 70%. Вказаний позитивний ефект досягається тим, що в запропонованому вогнезахисному складі підібрано оптимальну комбінацію портландцементу та спучених поризованих дрібнозернистих компонентів: спученого вермикуліту та золи виносу.

Ключові слова: вогнезахисне покриття, пожежа, вогнестійкість, теплообмін, математична модель, критична температура, адгезійна міцність.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR MANUFACTURING A PROTECTIVE COATING FOR PROTECTING METAL BUILDING STRUCTURES FROM HIGH TEMPERATURES RESULTING FROM FIRE

Introduction. Analysis of statistical data from the State Labor Service of Ukraine, the State Emergency Service of Ukraine, and other official sources has determined that one of the causes of the collapse of building structures and buildings in general is the loss of their load-bearing capacity as a result of fire. This is due to the presence of building structures and construction materials in buildings and structures that do not meet fire safety requirements, which hinders their long-term normal operation. Various measures and protective measures are used to increase fire resistance, reduce the flammability of materials, and reduce the risk of injury and loss of life in the event of a fire. The choice of a specific protection method depends primarily on the functional purpose of buildings and structures, as well as on the type of building structures. Despite the wide variety of fire-retardant coatings, the task of developing new and effective ways to increase the fire resistance of building structures to regulatory standards remains relevant.

Purpose. Conducting research and developing a new method for manufacturing protective coatings to protect steel building structures from high temperatures caused by fire, taking into account protective effectiveness.

Results. When developing the protective composition, research was conducted on the selection of components. After this, taking into account the identified shortcomings, we conducted research on the effect of the composition of components on the adhesive strength, thermal conductivity, and protective ability of the coated metal when heated, taking into account the thickness of the layer. Based on the research, we figured out some relationships that let us predict the adhesive strength depending on the ratio of components and the curing time.

Conclusions. The declared fire protection method allows, with a dry layer thickness of 40 mm, to provide fire protection of metal for up to 180 minutes. Thus, the fire protection coating, with its highly porous structure, has high adhesive strength and high resistance to temperature and humidity factors with air humidity above 70%. This positive effect is achieved by selecting the optimal combination of Portland cement and expanded porous fine-grained components in the proposed fire protection composition: expanded vermiculite and fly ash.

Keywords: fireproof coating, fire, fire resistance, heat exchange, mathematical model, critical temperature, adhesive strength.

Постановка проблеми. Аналіз статистичних даних Державної служби України з питань праці, Державної служби України з надзвичайних ситуацій та інших офіційних джерел [1, 2] показав, що однією з причин обрушення будівельних конструкцій і будівель в цілому є втрата їх несучої здатності внаслідок дії пожеж. Це пояснюється наявністю в будівлях і спорудах будівельних конструкцій та будівельних матеріалів, які не відповідають вимогам пожежної безпеки, що ускладнює їх довговічну нормальну експлуатацію.

Сьогодні, в більшості зведених будівель України для підвищення пожежної безпеки будівельних матеріалів і конструкцій застосовують вогнезахисні покриття, котрі підвищують межу вогнестійкості конструкцій до нормативних показників у відповідності до державних нормативно правових актів.

Більшість будівельних матеріалів можуть становити загрозу під час виникнення пожежі, або ж сприяти її швидкому поширенню. У зв'язку з цим надзвичайно важливим є завдання зменшення пожежної небезпеки як самих матеріалів, так і конструкцій, що на них

базуються. Саме тому питання забезпечення ефективного вогнезахисту сьогодні має особливу актуальність.

Актуальність. Обґрунтованим є те, що сталеві конструкції мають низьку межу вогнестійкості до 15-20 хвилин, що не відповідає пожежним вимогам до забезпечення надійної експлуатації будівель і споруд [3].

Для підвищення межі вогнестійкості, зниження горючості матеріалів та зниження ризиків травматизму і втрат людських життів у випадку пожеж застосовуються різноманітні заходи й захисні засоби. Вибір конкретного методу захисту передусім залежить від функціонального призначення будівель і споруд, а також від типу будівельних конструкцій.

Протягом останніх років як в Україні, так і за її межами зростає популярність використання вогнезахисних покриттів, які забезпечують істотне підвищення показників вогнестійкості. Зокрема, ці покриття, маючи досить тонкий шар нанесення, під дією високих температур здатні збільшувати обсяг у 100 разів шляхом спінювання, що суттєво знижує теплопередачу до базового матеріалу конструкцій. До складу

покриттів належать компоненти на основі рідкого скла або фосфатних сполучних речовин, а також інші спеціальні складові. Дані експериментальних досліджень підтверджують, що вогнезахисні покриття на базі рідкого скла можуть ефективно захищати металеві конструкції навіть за температурних перепадів понад 500 °C [4, 5].

Незважаючи на високу різноманітність вогнезахисних покриттів, актуальним залишається завдання розробки нових і дієвих способів підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій до нормативно визначених показників.

Мета досліджень. Дослідити залежність адгезійної міцності покриття на основі портландцементу та вермикуліту від часу твердіння та компонентного складу вогнезахисного покриття і визначити його захисні властивості.

Аналіз публікацій. В залежності від матеріалу, з якого виготовлені будівельні конструкції, в умовах дії високих температур вони ведуть себе по-різному. Так, для несучих конструкцій прогрів металу до критичної температури протікає без видимих змін, але після досягнення її відбувається миттєве обвалення.

В даний час в Україні та світі найбільшого застосування набули такі способи вогнезахисту конструкцій [6-11]: конструктивні методи, технологічні прийоми; застосування різноманітних обмазок та штукатурок; облицювання конструкцій цеглою та плитами; підвищення вогнестійкості обробкою конструкцій антипіренами; нанесення покриттів та фарб на поверхню конструкцій; підвищення вогнестійкості внаслідок застосування різних теплоізолюючих екранів. Згідно з наведеними джерелами, вибір виду вогнезахисного покриття будівельних конструкцій визначається з урахуванням вимог пожежної безпеки об'єкта та конструкцій на стадіях проектування й експлуатації, нормативів охорони праці та санітарно-гігієнічних стандартів, конструктивних параметрів захищуваних елементів (колони, ригелі, балки, зв'язки тощо) та їх перетинів, естетичних критеріїв, впливу температурно-вологих та експлуатаційних факторів, а також технології нанесення вогнезахисного матеріалу.

Відомий спосіб виготовлення вогнезахисного покриття [12], що містить полімерні синтетичні матеріали, розчинники, вулканізатори, теплостійкі добавки, антипірени, стабілізатори, пластифікатори та армуючі сполучні наповнювачі, забезпечує вогнестійкість та тепловий захист, але його виробництво характеризується складністю багатостадійної

технології підготовки дорогих інгредієнтів і трудомісткістю виготовлення з них покриттів. Крім того, компоненти неоднорідні через погану сумісність структурних елементів, що не забезпечує достатні фізико-механічні властивості з вогнестійкості.

Найбільш близьким за складом та результатом, досягнутим в нашому дослідженні, є спосіб виготовлення вогнезахисного покриття [13], що складається з таких компонентів: портландцемент, спучений вермикуліт, хризотилловий азбест, шамот, спучений перліт, напівфункціональний модифікатор бетону, дрібнодисперсний водорозчинний клей, водоутримуюча добавка. Однак, недоліком вказаного способу є складність у виготовленні композиції на будівельному майданчику (багатокомпонентність, послідовність змішування компонентів та їх дозування, присутність одночасно портландцементу та дрібнодисперсного водорозчинного клею, що призводить до швидкого твердіння та ускладнює нанесення такої суміші на поверхню), низька адгезійна міцність до металу, що призводить до зниження захисної здатності покриття в часі.

Аналіз показав, що в Україні цьому питанню приділяється недостатньо уваги, а існуючі способи вогнезахисту не відповідають повною мірою вимогам безпеки, в більшості багатокомпонентні, виділяють токсичні речовини (значна частина покриттів має у складі діамоній фосфат, поліуретани, фуранові олігомери, фенолфурилацетанові олігомери, оксид цинку тощо), покриття складні у виготовленні, недостатньо вивчені їх пожежно-технічні та експлуатаційні властивості.

Результати дослідження. Процеси тепломасообміну при вогневому впливі на систему покриття, що спучується – сталева конструкція, яка описується складним рівнянням у часткових похідних: збереження імпульсу й енергії, які наведені нижче. Рівняння враховує лінійний закон фільтрації, тому що воно визначає лінійну залежність між швидкістю фільтрації та похідної від тиску по напрямленню.

Для формулювання системи рівнянь тепло- і масообміну при вогневому впливі з боку покриття, що спучується, ми ввели такі припущення:

1) конденсована фаза кожного із складових системи складається з трьох компонентів: вихідного матеріалу, проміжного конденсованого продукту, кінцевого конденсованого продукту розкладання;

2) у системі протікають дві гомогенні незворотні реакції розкладання у вигляді:

$$\begin{aligned}
 v_1 A_1 &\rightarrow v_{21} A_2 + \sum_{i=1}^N v_{4i} A_{4i} \\
 &\rightarrow v_3 A_3 \\
 &+ \sum_{i=1}^N v_{4i} A_{4i},
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

де A_i ($i = 1, 2, 3, 4$) – символи вихідної конденсованої речовини, проміжного конденсованого продукту реакції, кінцевого конденсованого продукту (обвуглений шар) і газоподібних продуктів реакції, v – вектор швидкості;

3) в результаті гомогенних реакцій у кожному матеріалі утворюються пори одного розміру;

4) газова фаза складається з N газоподібних продуктів реакції, що протікають як на стінках, так і всередині пор відповідно;

5) середовище є однотемпературним;

6) швидкість усадки матеріалу мала порівняно з лінійною швидкістю термохімічного та механічного руйнування;

7) справжні густини конденсованих компонентів постійні.

В результаті проведених аналітичних досліджень [6, 7] отримано математичні моделі, які дозволяють визначити межу вогнестійкості для досягнення критичної температури на поверхні металевої конструкції.

При розгляді захисної здатності спученого покриття на сталевій конструкції вважаємо, що зі сторони осередку пожежі температура визначається за такою залежністю $t_{c1}(\tau) = t_0 + 345 \lg(8\tau + 1) \tau > t_0$, при $\tau > 0$. Залежність описує температурно-часовий режим стандартного теплового впливу під час випробувань на вогнестійкість – режим «стандартної пожежі».

В основу розробки складу покладено використання способу виготовлення вогнезахисного покриття, що характеризується високою вогнезахисною ефективністю, підвищеними показниками міцності та високою адгезійною міцністю до металу, при цьому застосовуються недорогі й доступні компоненти. При розробці захисного складу були проведені дослідження із вибору компонентів, після чого, з урахуванням виявлених недоліків (багатокомпонентність, короткі терміни застосування після приготування суміші до її нанесення (тужавіння суміші)) ми провели дослідження впливу складу компонентів на адгезійну міцність, теплопровідність та захисну здатність до прогріву металу з покриттям з урахуванням товщини шару, результати яких представлено в таблиці 5. Результат дослідження впливу складу компонентів на адгезійну міцність залежно від часу твердіння представлено на рисунку 1.

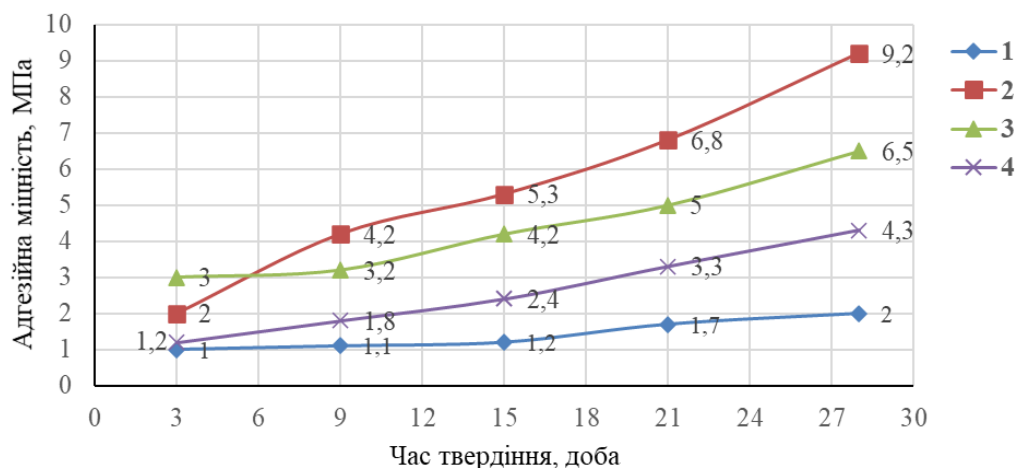


Рисунок 1 – Зміна адгезійної міцності залежно від часу твердіння у співвідношенні компонентів (портландцемент, вермикуліт, азбест, зола, гідрофобізатор) за масою, %: **1** – 20 : 57,3 : 7 : 25 : 0,7; **2** – 30 : 47,3 : 7 : 15 : 0,7; **3** – 29 : 48,3 : 7 : 15 : 0,7; **4** – 27,3 : 50 : 7 : 15 : 0,7

Проведені дослідження показали, що при вмісті портландцементу 20% адгезійна міцність з металом невисока та становить до 2,0 МПа при часі твердіння 28 діб.

Збільшення в співвідношенні портландцементу від 27,3 до 30,0% призводить до зростання адгезійної міцності від 4,0 МПа до 9,2 МПа.

На основі проведених досліджень були установлені залежності, які дозволяють прогнозувати величину адгезійної міцності залежно від співвідношення компонентів та часу твердіння.

Для 1 складу аналіз математичних функцій представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати апроксимації даних для складу покриття у співвідношенні компонентів 20 : 57,3 : 7 : 25 : 0,7 різними типами регресійних моделей

Тип регресійних залежностей	Математична функція	Коефіцієнт кореляції
лінійна	$y = 0,0421x + 0,7601$	$R^2 = 0,9216$
поліноміальна	$y = 0,0012x^2 + 0,0033x + 0,9644$	$R^2 = 0,9677$
логарифмічна	$y = 0,4125\ln(x) + 0,3787$	$R^2 = 0,7092$
степенева	$y = 0,6501x^{0,2952}$	$R^2 = 0,7871$
експоненційна	$y = 0,8633e^{0,0294x}$	$R^2 = 0,9545$

Графічне відображення математичних функцій подано на рис. 2.

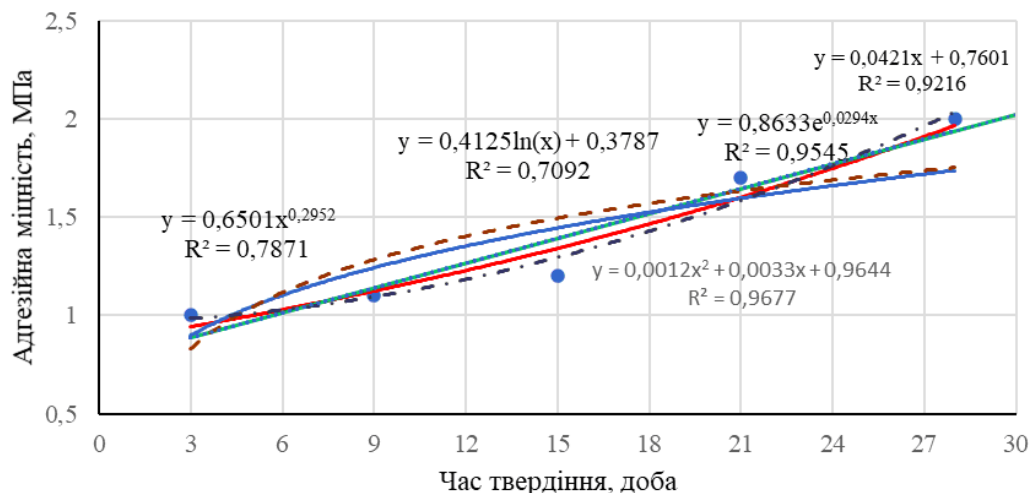


Рисунок 2 – Залежність величини адгезійної міцності та часу твердіння від співвідношення компонентів складу 1

В якості математичної функції, яка описує залежність величини адгезійної міцності та часу твердіння від співвідношення компонентів складу 1, а самі співвідношення компонентів за масою, %: портландцемент, вермикуліт, азбест, зола, гідрофобізатор - 20 : 57,3 : 7 : 25 : 0,7, обрано експоненційну математичну функцію, яка має такий вираз:

$$y = 0,8633e^{0,0294x}, \quad (2)$$

де x – час твердіння, доба;

y – адгезійна міцність, МПа.

Хоча поліноміальна модель характеризується дещо вищим коефіцієнтом кореляції ($R^2 = 0,9677$) порівняно з експоненційною ($R^2 = 0,9545$), для подальшого аналізу було обрано експоненційну залежність, оскільки вона краще відповідає фізичній природі процесу.

Для 2 складу аналіз математичних функцій представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати апроксимації даних для складу покриття у співвідношенні компонентів 30 : 47,3 : 7 : 15 : 0,7 різними типами регресійних моделей

Тип регресійних залежностей	Математична функція	Коефіцієнт кореляції
лінійна	$y = 0,2747x + 1,3247$	$R^2 = 0,9889$
поліноміальна	$y = 0,0006x^2 + 0,2553x + 1,4267$	$R^2 = 0,9892$
логарифмічна	$y = 2,9315\ln(x) - 1,7588$	$R^2 = 0,903$
степенева	$y = 0,9649x^{0,6551}$	$R^2 = 0,9794$
експоненційна	$y = 2,0624e^{0,0567x}$	$R^2 = 0,9584$

Графічне відображення математичних функцій подано на рис. 3.

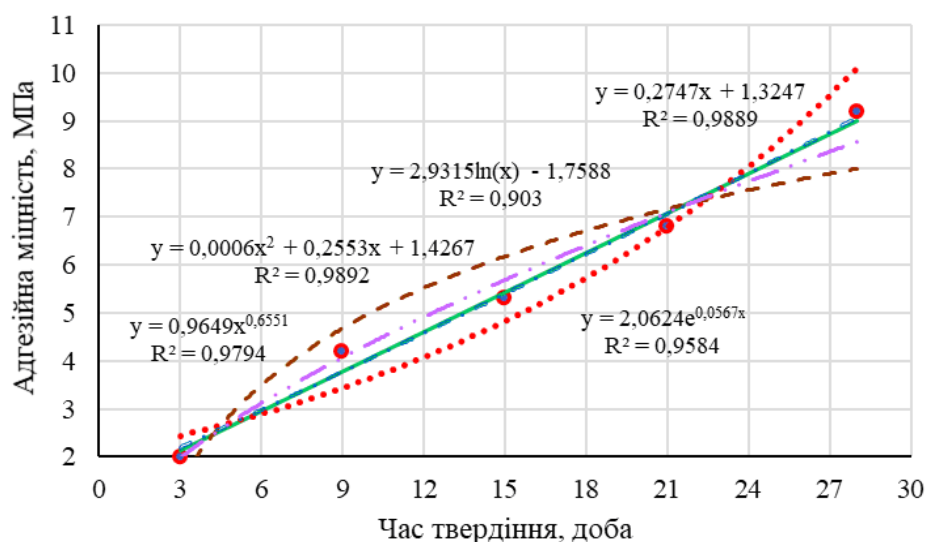


Рисунок 3 – Залежність величини адгезійної міцності та часу твердіння від співвідношення компонентів складу 2

В якості математичної функції, яка описує залежність величини адгезійної міцності та часу твердіння від співвідношення компонентів складу 2, а самі співвідношення компонентів за масою, %: портландцемент, вермикуліт, азбест, зола, гідрофобізатор-30 : 47,3 : 7 : 15 : 0,7, обрано лінійну математичну функцію, яка має такий вигляд:

$$y = 0,2747x + 1,3247, \quad (3)$$

де x – час твердіння, доба;
 y – адгезійна міцність, МПа

Для 3 складу аналіз математичних функцій представлено в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати апроксимації даних для складу покриття у співвідношенні компонентів 29 : 48,3 : 7 : 15 : 0,7 різними типами регресійних моделей

Тип регресійних залежностей	Математична функція	Коефіцієнт кореляції
лінійна	$y = 0,1427x + 2,2106$	$R^2 = 0,955$
поліноміальна	$y = 0,0038x^2 + 0,0242x + 2,8352$	$R^2 = 0,9938$
логарифмічна	$y = 1,4118\ln(x) + 0,8841$	$R^2 = 0,7492$
степенева	$y = 1,8647x^{0,3281}$	$R^2 = 0,8344$
експоненційна	$y = 2,5757e^{0,0322x}$	$R^2 = 0,987$

Графічне відображення математичних функцій подано на рис. 4.

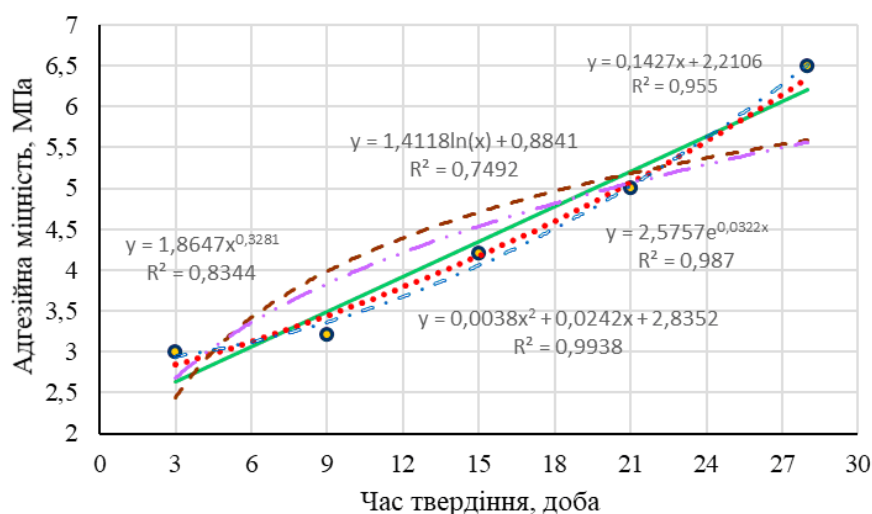


Рисунок 4 – Залежність величини адгезійної міцності та часу твердіння від співвідношення компонентів складу 3

Незважаючи на те, що коефіцієнт кореляції при поліноміальній моделі дещо вищий ($R^2 = 0,9938$), ніж при експоненційній моделі ($R^2 = 0,987$), в якості математичної функції, яка описує залежність величини адгезійної міцності та часу твердіння від співвідношення компонентів складу 3, а саме співвідношення компонентів за масою, %: портландцемент, вермикуліт, азбест, зола, гідрофобізатор-29 : 48,3

: 7 : 15 : 0,7, обрано експоненційну математичну функцію, яка має такий вираз:

$$y = 2,5757e^{0,0322x}, \quad (4)$$

де x – час твердіння, доба;
 y – адгезійна міцність, МПа.

Для 4 складу аналіз математичних функцій представлено в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати апроксимації даних для складу покриття у співвідношенні компонентів 27,3 : 50 : 7 : 15 : 0,7 різними типами регресійних моделей

Тип регресійних залежностей	Математична функція	Коефіцієнт кореляції
лінійна	$y = 0,1245x + 0,7079$	$R^2 = 0,9905$
поліноміальна	$y = 0,0015x^2 + 0,0772x + 0,9571$	$R^2 = 0,9989$
логарифмічна	$y = 1,2831\ln(x) - 0,5771$	$R^2 = 0,8437$
степенева	$y = 0,5963x^{0,556}$	$R^2 = 0,9484$
експоненційна	$y = 1,0913e^{0,0508x}$	$R^2 = 0,9894$

Графічне відображення математичних функцій подано на рис. 5.

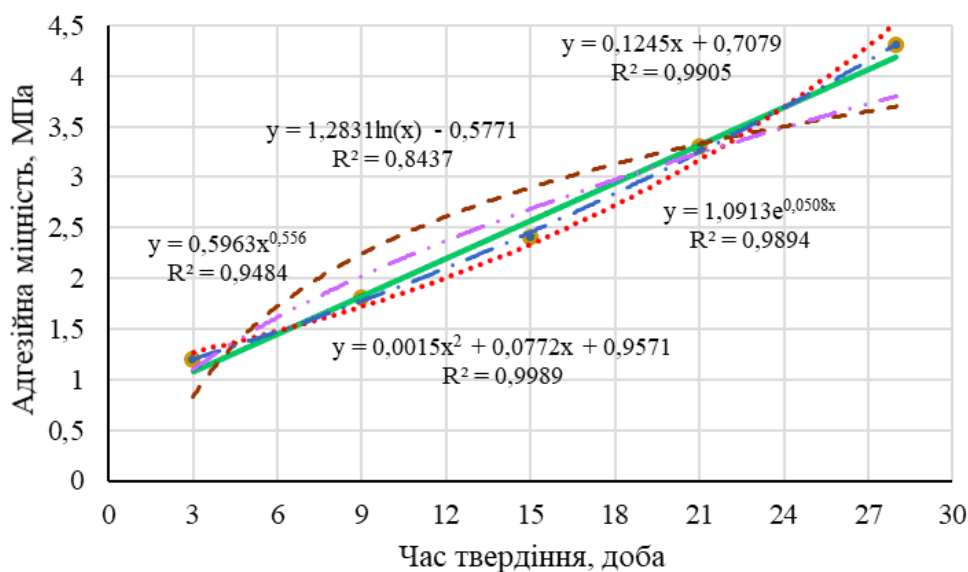


Рисунок 5 – Залежність величини адгезійної міцності та часу твердіння від співвідношення компонентів складу 4

В якості математичної функції, яка описує залежність величини адгезійної міцності та часу твердіння від співвідношення компонентів складу 4, а саме співвідношення компонентів по масі, %: портландцемент, вермикуліт, азбест, зола, гідрофобізатор-27,3 : 50 : 7 : 15 : 0,7, обрано експоненційну математичну функцію, яка має такий вираз:

$$y = 1,0913e^{0,0508x}, \quad (5)$$

де x – час твердіння, доба;
 y – адгезійна міцність, МПа.

Таким чином, на підставі кореляційного аналізу проведено оцінку залежності величини

адгезійної міцності від часу твердіння, який підтвердив наявність між адгезійною міцністю та часом твердіння досить тісний кореляційний зв'язок.

Корегування вмісту портландцементу та інших складових було проведено, щоб визначити, як пов'язана адгезійна міцність покриття з його захисною здатністю.

Визначено, що збільшення в складі портландцементу призводить до зростання адгезії з металом. Одночасно зменшення поризованих складових (спучений вермикуліт, зола виносу) призводить до зниження теплозахисних властивостей (таблиця 5).

Аналіз складу компонентів вогнезахисного покриття та їх характеристики

Заявлений	Прототип			Склад
	1	2	3	
30	27,3	30,1	38,1	Портландцемент
47,3	50	15	15	Спучений вермикуліт
7	7	15,1	20	Хризотилловий азбест
-	-	20	15	Шамот
-	-	15	15	Спучений перліт
-	-	0,3	0,3	Напівфункціональний модифікатор бетону
-	-	4,0	4,0	Дрібно дисп. водорозчинний клей
-	-	0,6	0,6	Водоутримуюча добавка
15	15	-	-	Зола виносу
0,7	0,7	-	-	Кремнійорганіч. гідрофобізатор пластифікатор
330	270	410	400	Щільність, кг/м ³
0,070	0,64	0,084	0,083	Теплопровідність, Вт/мК
1300	1300	1300	1300	Температура плавлення не менше, °С
50-60	50-60	50-60	50-60	Температура експлуатації, °С
40,5	39	48	45	Товщина покриття сух., мм
180	180	150	150	Вогнезахист, хв.

З урахуванням визначених складів вогнезахисного покриття та їх захисної здатності визначено, що захисне покриття може виготовлятися як у заводських умовах, так і в умовах будівельного майданчика. Спочатку подається портландцемент, хризотилловий азбест, зола виносу, а потім – спучений вермикуліт. Після ретельного перемішування компонентів протягом 10-15 хвилин в сухих дезінтеграторах вноситься кремнеорганічний гідрофобізатор з повторним перемішуванням всіх компонентів протягом 15 хвилин, а потім заливається водою до необхідної консистенції, дотримуючись такого діапазону співвідношення компонентів, мас. %: портландцемент 20-30, спучений вермикуліт 40-50, хризотилловий азбест 5-7, зола виносу 10-15, кремнеорганічний гідрофобізатор 0,2-0,7.

Висновок. Компонентний склад вогнезахисного покриття дає змогу при товщині сухого шару 40 мм забезпечити вогнезахист

металу протягом 180 хв при досягненні критичної для сталевих конструкцій температури 500 °С. При цьому вогнезахисне покриття, завдяки своїй високопористій структурі, характеризується високою адгезійною міцністю та стійкістю до впливу температурно-вологого середовища понад 70%. Вказаний позитивний ефект досягається тим, що в запропонованому вогнезахисному складі покриття підібрано оптимальне співвідношення компонентів портландцементу та спучених поризованих дрібнозернистих компонентів: спученого вермикуліту та золи виносу. Для підвищення армуючого ефекту та адгезійної міцності вогнезахисного покриття з металом до його складу введено 5–7 % хризотилового розпушеного азбесту, що забезпечує формування стабільної волокнистої структури, та 0,2–0,7 % кремнеорганічного гідрофобізуючого пластифікатора, який сприяє підвищенню водостійкості, довговічності та

термостійкості покриття в умовах температурно-вологого середовища.

Список літератури:

1. Офіційний сайт Державної служби України з надзвичайних ситуацій. – Режим доступу: <https://dsns.gov.ua/uk>

2. Стан виробничого травматизму в Україні. URL: <https://dsp.gov.ua/stan-vyrobnychoho-travmatyzmu/>

3. Веселівський Р. Б., Смоляк Д.В. Способи вогнезахисту металевих будівельних конструкцій. *Пожезна безпека*. 2021. № 39. С. 63–76.

4. Вогнезахисний склад : пат. 22316А Україна : МПК 5 С04 В7/14 / А. С. Беліков, Г. М. Крикунов, В. А. Шаломов. — № 9611455 ; заявл. 04.11.96 ; опубл. 03.02.98, Бюл. № 3. — 3 с.

5. Композиція для підвищення вогнестійкості конструкцій : пат. 22318А Україна : МПК 5 С04 В7/14 / А. С. Беліков, Г. М. Крикунов, В. А. Шаломов. — № 9611455 ; заявл. 04.11.96 ; опубл. 03.02.98, Бюл. № 3. — 3 с.

6. Беліков А.С., Корж Є.М., Шаранова Ю.Г., Карасьов О.Г. / Вибір матеріалів для розробки захисних покриттів від впливу високих температур // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування : зб. наук. праць / ПДАБтаА. – Дніпро, 2018, №105. – С. 50–54.

7. Беліков А.С., Шаломов В.А., Корж Є.М., Булгакова Д.О. / Оптимізація рішень при виборі компонентів вогнезахисних композицій // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування : зб. наук. праць / ПДАБтаА. – Дніпро, 2017, № 101. – С. 42–47.

8. Беліков А.С., Шаломов В.А., Рагімов С.Ю. / До питання підвищення безпеки експлуатації будівельних конструкцій при дії високих температур // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 2018, № 6 (247–248) – с. 37–45. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.261218.37.445

9. Борсук О. В. Удосконалення методу розрахункової оцінки вогнестійкості сталевих балок із вогнезахисним мінераловатним облицюванням. : дис. канд. техн. наук : 21.06.02 / Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності. Львів, 2021. 170с.

10. Веселівський Р. Б., Яковчук Р. С., Василенко О.О., Семенюк П. В. Експериментальне дослідження вогнестійкості огорожувальних конструкцій з гіпсокартонними плитами. *Пожезна безпека*. 2015. № 27. С. 26–32.

11. Гивлюд М. М., Артеменко В. В., Яковчук Р. С., Веселівський Р. Б. Вогнезахисні речовини на основі наповнених силіційелементорганічних зв'язок для металевих

конструкцій. Науковий вісник НЛТУ України. 2016. № 26.1. С. 217–222. DOI: <https://doi.org/10.15421/40260139>

12. Geoffroy L, Samyn F, Jimenez M, Bourbigot S. Intumescent Polymer Metal Laminates for Fire Protection. *Polymers*. 2018; 10(9):995. <https://doi.org/10.3390/polym10090995>

13. Суха суміш для вогнезахисного покриття: пат. RU 2521999 C1: МПК C04 B 41 / 50 / В. Ф. Васкалов, І. І. Ведяков, С. М. Остапчук. — № 2017135195 ; заявл. 05.10.2017 ; опубл. 05.07.2018, Бюл. № 19. — 3 с.

14. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>

15. НАПБ Б.01.012-2019 Правила з вогнезахисту. Затверджено Наказом МВС України від 26.12.2018 № 1064, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 14.03.2019 за № 259/33230. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0259-19#Text>

References:

1. Official website of the State Emergency Service of Ukraine. – URL: <https://dsns.gov.ua/uk>

2. The state of occupational injuries in Ukraine. URL: <https://dsp.gov.ua/stan-vyrobnychoho-travmatyzmu/>

3. Veselivskyy R. B., Smolyak D.V. (2021) *Sposoby vohnezakhystu metalevykh budivelnykh konstrukttsii* [Methods of fire protection of metal building structures]. *Pozhezhna bezpeka*, 39, 63–76 [in Ukrainian].

4. Fire-protective composition : Pat. 22316A Ukraine : IPC 5 C04 B7/14 / A. S. Bielikov, H. M. Krykunov, V. A. Shalomov ; filed 04.11.1996 ; published 03.02.1998, Bull. No. 3. — 3 p.

5. Composition for increasing fire resistance of structures : Pat. 22318A Ukraine : IPC 5 C04 B7/14 / A. S. Bielikov, H. M. Krykunov, V. A. Shalomov ; filed 04.11.1996 ; published 03.02.1998, Bull. No. 3. — 3 p.

6. Belikov A.S., Korzh Ye.M., Sharanova Yu.H., Karasev O.H./ Selection of materials for the development of protective coatings against high temperatures // Construction, materials science, mechanical engineering: collection of scientific works / "PDABA". – Dnipro, 2018. – № 105. – p. 50–54.

7. Belikov A.S., Shalomov V.A., Korzh Ye.M., Bulgakova D.O. / Optimisation of decisions when selecting components for fire-retardant compositions // Construction, materials science, mechanical engineering: collection of scientific works / «PDABA» – Dnepropetrovsk, 2017. – № 101. – p. 42–47.

8. Belikov A.S., Shalomov V.A., Ragimov S.Yu. On the issue of improving the safety of building structures under high temperatures / Bulletin of the Dnipro State Academy of Construction and Architecture. № 6 (247-248) / State Higher Educational Institution "PDABA" – Dnepropetrovsk, 2018. p. 37-45. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.261218.37.445
9. Borsuk O. V. Improvement of the method for calculating the fire resistance of steel beams with fire-resistant mineral wool cladding. : dis. kand. tekhn. nauk : 21.06.02 / Lviv. derzh. un-t bezpeki zhittediyalnosti. Lviv, 2021. p. 170
10. Veselivskii R. B., Yakovchuk R. S., Vasilenko O.O., Semenyuk P. V. Experimental study of the fire resistance of enclosing structures made of plasterboard panels. Fire safety. 2015. № 27. p. 26-32.
11. Givlyud M. M., Artemenko V. V., Yakovchuk R. S., Veselivskii R. B. Fire-retardant substances based on filled silicon-organic compounds for metal structures. Naukovii visnik NLTU Ukraïni. 2016. № 26.1. p. 217-222. DOI: <https://doi.org/10.15421/40260139>
12. Geoffroy L, Samyn F, Jimenez M, Bourbigot S. Intumescent Polymer Metal Laminates for Fire Protection. Polymers. 2018; 10(9):995. <https://doi.org/10.3390/polym10090995>
13. Dry mix for fire-protective coating : Pat. RU 2521999 C1 : IPC C04 B 41/50 / V.F. Vaskalov, I.I. Vedyakov, S.M. Ostapchuk ; filed 05.10.2017 ; published 05.07.2018, Bull. No. 19.– 3 p.
14. DSTU 8829:2019 Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for their determination. Classification. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>
15. NAPB Б.01.012-2019 Fire safety rules. Approved by Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine No. 1064 dated 26 December 2018, registered with the Ministry of Justice of Ukraine on 14 March 2019, № 259/33230. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0259-19#Text>

© А. С. Беліков, К. А. Рибалка, П. М. Нажа,
О. П. Тодоров, 2025.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 18.08.2025.

Прийнято до публікації 26.11.2025.