

### ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОГО ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Визначено умови формування вогнезахисного покриття на поверхні залізобетонних конструкцій та розглянуто результати досліджень в області розробки температуро- та вогнестійких захисних покриттів для збільшення довговічності будівельних конструкційних матеріалів. Разом з тим, вирішено питання впливу способу нанесення захисного покриття на поверхню залізобетону. Встановлено та запропоновано склади вихідних композицій для захисних покриттів та вивчено їх вплив на вогнестійкість та довговічність залізобетонних конструкцій в умовах високотемпературного нагрівання та пожежі.

**Ключові слова:** температуро- та вогнезахисне покриття, вихідна композиція, залізобетонні конструкції, вогнестійкість.

### ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Определены условия формирования огнезащитного покрытия на поверхности железобетонных конструкций и рассмотрены результаты исследований в области разработки температуро- и огнестойких защитных покрытий для увеличения долговечности строительных конструкционных материалов. Вместе с тем, решено вопроса влияния способа нанесения защитного покрытия на поверхность железобетона. Установлены и предложены составы исходных композиций для защитных покрытий и изучено их влияние на огнестойкость и долговечность железобетонных конструкций в условиях высокотемпературного нагрева и пожара.

**Ключевые слова:** температуро- и огнезащитное покрытие, исходная композиция, железобетонные конструкции, огнестойкость.

### EFFECT OF SURFACE PROCESSING PROTECTIVE COATINGS OF CONCRETE STRUCTURES FIRE RESISTANCE ON THEM

The conditions of formation of fire-proof coating on the surface of concrete structures and discussed the results of research in the development temperaturo- and fire-resistant protective coating for increased durability of building construction materials. However, the question of influence method of applying a protective coating on the surface of the concrete. Established and proposed composition of the initial compositions for protective coatings and studied their effect on fire resistance and durability of concrete structures in conditions of high heat and fire.

**Keywords:** temperaturo- and fire protective coatings, original composition, concrete structures, fire resistance.

**Постановка проблеми.** Напрями розвитку матеріалознавства на сучасному етапі зумовлені необхідністю створення принципово нових видів покриттів будівельних конструкційних матеріалів, які експлуатуються в умовах впливу атмосферних чинників, високих температур та вогню. З урахуванням сучасних технологій будівництва, а саме зменшення перерізу основних будівельних залізобетонних конструкцій, для забезпечення необхідної межі їх вогнестійкості доцільно застосовувати вогнезахисні покриття.

В реальних умовах експлуатації залізобетонні конструкції піддаються комплексній дії агресивних факторів, які значною мірою підсилюються в умовах високих температур та вогню. Головним фактором, який впливає на залізобетонні конструкції при дії вказаних факторів, є втрата міцнісних характеристик і, як результат, руйнування. Підвищити вогнестійкість залізобетонних конструкцій можливо шляхом їх поверхневої модифікації захисними матеріалами різної хімічної природи.

Розроблені на даний час склади покриттів не забезпечують надійного захисту таких будівельних конструкцій в екстремальних умовах пожежі. Тому підвищити вогнестійкість залізобетонних конструкцій можна шляхом нанесення на їх поверхню наповнених вогнетривкими компонентами полісилоксанів, які володіють високими термостабільними властивостями в широкому інтервалі температур. В умовах дії високих температур при пожежі на вогнестійкість захищених залізобетонних конструкцій впливає фазовий склад покриття завдяки значній різниці термомеханічних властивостей.

*Аналіз останніх досліджень та публікацій.* Поліфункціональні захисні покриття на основі наповнених полісилоксанових композицій технологічні та можуть використовуватися для підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкційних матеріалів внаслідок високих термомеханічних властивостей, які визначаються стабільним структурним та фазовим складом [2, 3]. Але внаслідок гетерофазової будови та дії високих температур пожежі, значний вплив на формування захисного теплоізоляційного шару мають процеси на межі контакту «покриття-бетон» [4, 5].

Разом з тим, вирішення питання впливу способу нанесення захисного покриття на поверхню залізобетону, його товщину, температури пожежі та складу вихідної композиції на вогнестійкість обробленого матеріалу залишається актуальним.

*Мета роботи.* Дослідження впливу захисного покриття на основі наповненого оксидними компонентами полісилоксану на вогнестійкість залізобетонних конструкцій.

*Експериментальна частина.* Базовий склад вихідних композицій для вогнезахисних покриттів (табл. 1) обрано за допомогою методу математичного планування експерименту.

**Таблиця 1**

*Склади вихідних композицій для вогнезахисних покриттів*

№ складу покриття	Вміст компонентів, мас %					
	КО-08	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO <sub>2</sub>	Каолін	Каолінове волокно	Бура (Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> •10H <sub>2</sub> O)
1	20	40	35	-	5	-
2	40	20	38	-	2	-
3	25	40	10	20	4	1
4	35	30	19	10	4,5	1,5
5	30	30	22	12,5	3,5	2
6	35	25	25	10	2	3

*Мета дослідження.* Агрегативностійкі композиції із рівновисокою однорідністю отримано шляхом сумісного механохімічного диспергування компонентів у кульових млинах завдяки процесам руйнування кристалічної ґратки оксидного наповнювача та добавки, фізичній адсорбції та прививанню фрагментів полісилоксанового плівкоутворювача до поверхні наповнювача. Методом ІЧ-електроскопії встановлено оптимальний термін диспергування (100-125 год) та масу привитого полімеру (5,7-6,3 мас. %).

Експериментальними дослідженнями встановлено, що текучість вихідної композиції залежить тільки від вмісту плівкоутворювача (20-26 с), а сухий залишок становить 75-85 мас. %. Міцність на згин розроблених складів покриттів у 1-2 мм залежить тільки від вмісту наповнювача. Міцність на удар є лише функцією складу вихідної композиції та змінюється в межах 4,0 – 5,0 Дж.

Експлуатаційні властивості захисних покриттів (адгезійна міцність, суцільність, вогнестійкість тощо) значною мірою залежать від технологічного режиму їх нанесення на поверхню бетону та умов тверднення. Попередніми дослідженнями [1, 3] встановлено, що після нанесення вихідної композиції для захисного покриття на поверхню бетону відбувається випаровування органічного розчинника з повною полімеризацією полісилоксанового плівкоутворювача з утворенням міцного захисного шару. При цьому полісилоксан виконує роль матриці, а дисперсною фазою є частинки алюмінію, цирконію оксидів, бура, каолін та каолінове волокно. Залежно від складу вихідної композиції, мікротвердість утвореного захисного покриття на поверхні бетону, яка є критерієм ступеня затвердіння, змінюється у широких межах.

Вивчено вплив умов тверднення захисного покриття на його мікротвердість за режимами:

- 1 – витримання 2 години при температурі 353 К;
- 2 – витримання 1 годину при температурі 423 К;
- 3 – витримання 0,5 години при температурі 473 К;
- 4 – витримання 24 години при температурі 293 К

Результати досліджень наведено у таблиці 2.

**Таблиця 2**

№ складу покриття	Мікротвердість, МПа, згідно з режимом тверднення			
	1	2	3	4
1	264,5	289,3	271,7	243,2
2	263,4	278,9	269,8	231,7
3	247,3	271,3	260,4	225,3
4	252,7	275,7	263,2	233,5
5	250,4	270,2	259,3	229,1
6	262,5	282,3	265,9	242,3

Експериментально встановлено, що найвищі показники мікротвердості (271,3 – 289,3 МПа) захисного покриття отримано за 2 режимом тверднення. При цьому покриття корелюється з вмістом наповнювача та залежить від масової долі каоліну. Мінімальні показники мікротвердості (225,3 – 243,2 МПа) характерні для захисних покриттів, які тверднули за 4 режимом. Із врахуванням технологічних умов тверднення та енергоощадності і задовільних показників мікротвердості, для отримання захисних покриттів доцільно використати достатньо простий режим, а саме – 24 години при кімнатній температурі (293 К).

Нанесення вихідних композицій для захисних покриттів проводили за допомогою пульверизатора на попередньо очищену від пилу та висушену до вологості не вище 3 мас. % поверхню бетону. Товщина захисного покриття становить 0,4 – 0,6 мм.

Методами фізико-хімічного аналізу встановлено, що у процесі нагрівання завдяки термоокисній деструкції полісилоксанового плівкоутворювача утворюються газоподібні продукти, що призводять до спучування покриття зі створенням теплоізоляційного захисного шару, характер якого залежить від товщини вихідного покриття, температури та градієнта нагрівання.

Встановлена залежність коефіцієнта спучення захисного покриття від товщини, швидкості та температури нагрівання (табл. 3) вказує на його зміну у широких межах. При нагріванні до температури 573 К коефіцієнт спучення залежить як від товщини, так і від швидкості нагрівання. Збільшення товщини покриття приводить до зростання коефіцієнта спучення у 3...3,3 раза, а збільшення градієнта температур – у 1,35...1,9 раза, що залежить від товщини покриття.

Слід відзначити, що збільшення товщини покриття менш суттєво впливає на коефіцієнт спучення. Підвищення температури нагрівання до 873 К веде до значного зростання коефіцієнта спучення, особливо при нагріванні із швидкістю 120 град/хв. Максимальні значення коефіцієнта спучення (11,23...13,92) характерні для покриттів із значенням товщини 800 мкм та показником швидкості нагрівання 120 град/хв.

Підвищення температури нагрівання до 873 К частково збільшує коефіцієнт спучення для покриттів із різним значенням товщини. Максимальне значення коефіцієнта спучення (11,97 та 11,87) характерне для покриттів складів № 1 та № 4 при товщині 800 мкм і швидкості нагрівання 120 град/хв. Нагрівання захисних покриттів вище від температури 873 К призводить до незначного зменшення коефіцієнта спучення внаслідок спікання покриттів та утворення більш щільної структури.

Експериментально встановлено вплив товщини захисного покриття на показник його загальної пористості в температурному інтервалі (573 – 873 К) термоокисної деструкції полісилоксану. При цьому (рис. 1а), мінімальний показник загальної пористості захисного покриття 16 – 26 % характерний для товщини 400 – 600 мкм при нагріванні до 573 К.

Таблиця 3

Залежність коефіцієнта спучення покриття від товщини та швидкості температури нагрівання

№ складу покриття	Товщина покриття, мкм	Коефіцієнт спучення ( $K_{cn}$ ) при температурі нагрівання (К)											
		573			673			773			873		
		Швидкість зростання температури (град/хв)											
		20	60	120	20	60	120	20	60	120	20	60	120
2	400	1,14	1,82	3,12	2,87	5,14	6,21	3,02	7,12	8,14	3,07	8,12	10,41
	600	1,57	2,03	3,81	3,02	6,02	7,01	3,51	8,03	9,12	3,82	9,14	11,07
	800	1,92	2,87	4,03	3,41	7,93	8,14	3,91	9,02	10,14	4,03	10,10	11,97
4	400	1,16	1,91	3,08	2,91	5,27	6,31	3,09	7,51	8,27	3,12	8,47	10,37
	600	1,61	2,09	3,78	2,98	5,19	6,37	3,62	8,12	9,21	3,91	9,07	10,93
	800	2,01	2,17	4,18	3,31	7,12	8,21	4,01	8,93	10,02	3,98	10,12	11,37
6	400	1,21	2,01	3,17	3,01	5,21	6,37	3,87	7,14	8,93	3,93	8,53	10,87
	600	1,57	2,12	4,01	3,17	5,91	7,17	3,91	7,97	9,91	4,17	9,85	11,43
	800	2,07	2,37	4,33	3,53	6,95	8,29	4,02	8,91	10,14	4,83	10,19	11,87

Окремо, для захисного покриття товщиною 600 мкм встановлено залежність показника загальної пористості від температури нагрівання (рис. 1б)

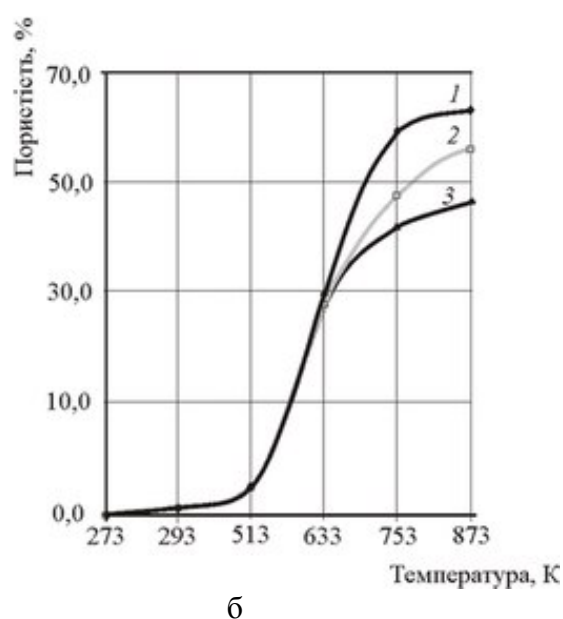
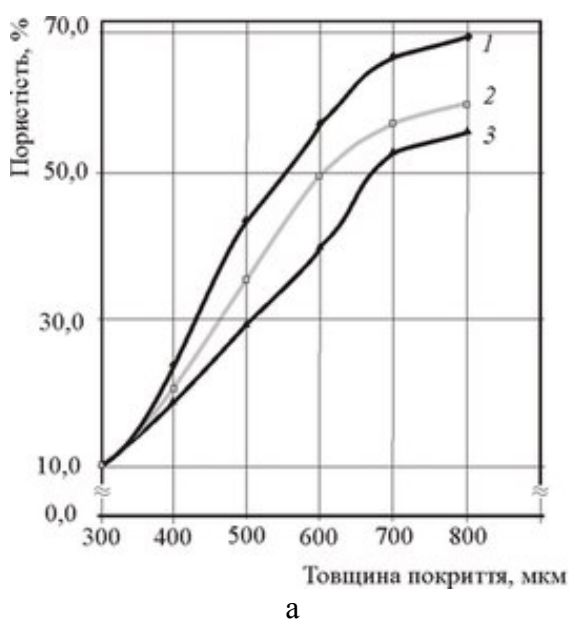


Рис. 1. Залежність показника загальної пористості захисного покриття від товщини (а) та температури нагрівання (б): 1 – склад № 2; 2 – склад № 4; 3 – склад № 6

При нагріванні покриття до температури 513 К показник загальної пористості становить 2 – 3 % завдяки випаровуванню залишків розчинника. Зростання показника пористості до 41 – 57 % при нагріванні вище від температури 633 К проходить завдяки процесам термоокисної деструкції полісилоксану. Максимального значення загальної пористості 47 – 63 % досягається при нагріванні до температури 753 К (максимум процесу термодеструкції). Слід відзначити, що мінімальне значення загальної пористості (48,3) має покриття складу №6.

Підвищення температури нагрівання вище від 753 К веде до зменшення показника пористості внаслідок перебігу процесів взаємодії між компонентами із утворенням нових силікатних фаз, які ущільнюють структуру матеріалу завдяки спіканню.

Ефективність впливу вогнезахисного покриття на вогнестійкість залізобетонних конструкцій визначали у вогневій печі [1] (табл. 4)

**Таблиця 4**

*Межа вогнестійкості захищених залізобетонних зразків за втратою теплоізолювальної здатності*

Межа вогнестійкості, хв, захищеного залізобетону товщиною 220 мм. Покриття складу №			
Без покриття	2	4	6
60	115	122	112

Доцільність використання розроблених складів захисних покриттів на основі наповненого полісилоксану для вогнезахисту залізобетонних конструкцій зумовлена збільшенням межі вогнестійкості за втратою теплоізолювальної здатності у 1,86 – 2,03 раза.

**Висновки.** Експериментально встановлено оптимальний режим тверднення захисного покриття, на поверхні бетону, що досягається при нагріванні до температури 473 К або при витримуванні у кімнатній температурі протягом 24 год. Пористість захисного шару залежить від температури нагрівання, товщини покриття та швидкості підняття температури. Доведемо, що при збільшенні товщини покриття від 300 до 800 мкм за завдяки його спученню показник пористості зростає у 5,0 – 7,5 раза, а при підвищенні градієнта температур від 20 до 60 град./хв. – у 8,2 – 9,4 раза.

Встановлено ефективність вогнезахисту залізобетонних конструкцій розробленими складами захисних покриттів. При їх використанні межа вогнестійкості залізобетонних конструкцій за теплоізолювальною здатністю зростає у 1,86 – 2,03 раза.

### Список літератури

1. ДСТУ Н-П Б.В.1.1-29: 2010 “Захист від пожежі. Вогнезахисне оброблення будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання”.
2. Ємченко І.В. Вплив каоліну на технологічні властивості та структуру наповнених сицилійорганічних покриттів / І.В. Ємченко, М.М. Гивлюд // Вопросы химии и химической технологии: – Днепропетровск: 2008. – №3. – С. 97-98.
3. Смоляк Д.В. Основи формування структури температуро- та вогнестійких захисних покриттів на основі наповнених сицилійелементоорганічних сполук / Д.В. Смоляк, М.М. Гивлюд, Н.І. Топилко, А.О. Павлійчук // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів: ЛДУ БЖД, 2015. – №26. – С.138-143.
4. Gyvlyud M.M. Silicium organic coatings for thermal and fire-protection of reinforced concrete. / Gyvlyud M.M., Demidchuk L.B., Smolyak D.V. // Теорія і практика будівництва: Вісник. – Львів НУ «Львівська політехніка», 2014. – №781. С. 46-49.
5. Юзьків Т.Б. Вплив високих температур на міцність композиційних портландцементів з механохімічною активацією / Т.Б. Юзьків, М.З. Лоза.// Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів: ЛППБ, 2005. – №6. – С.68-70.

### References

1. ISO H -P B.V.1.1-29 : 2010 "Protection of fire. Fire retardant treatment of building structures. General requirements and methods of control . "
2. Yemchenko I.V. Effect of kaolin on technological properties and structure filled sytsilyorhanichnyh coatings / Yemchenko I.V., Hyvlyud M.M. // Questions of chemistry and technology hymycheskoy : – Dnepropetrovsk : 2008. – №3. – S. 97-98 .
3. Smolyak D.V. Fundamentals of structure formation temperaturo- and fire-resistant protective coating based on expanded sylitsiyelementoorhanichnyh compounds / Smolyak D.V., Hyvlyud M.M., Topylko N.I, Pavliychuk A.A. // Fire safety: Coll. works. – Lviv: LSU BC , 2015. – №26. – S.138-143 .
4. Gyvlyud M.M. Silicium organic coatings for thermal and fire-protection of reinforced concrete. / Gyvlyud M.M., Demidchuk L.B., Smolyak D.V. // Теорія і практика будівництва: Вісник. – Львів НУ «Львівська політехніка», 2014. – №781. С. 46-49.
5. Yuzkiv T.B. The impact of high temperatures on the strength composite Portland cement with mechanochemical activation / Yuzkiv T.B., Loza M.Z..// Fire safety: Coll. Science. works. – Lviv: LIPB , 2005. – №6. – S.68-70 .

