

Л.Б. ДЕМИДЧУК, Д.І. САПОЖНИК  
Львівський торговельно-економічний університет

## ВПЛИВ СКЛАДУ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ БУДІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ІЗ ЗАЛІЗОБЕТОНУ НА ЙОГО АТМОСФЕРОСТІЙКІСТЬ

*В роботі досліджено питання щодо можливості підвищення атмосферостійкості будівельних залізобетонних конструкцій поверхневою обробкою захисними покриттями, закономірності процесів формування структуроутворюючої основи кремнійорганічних сполук на основі наповнених поліметилфенілсилоксанів; визначено ефективні матеріали та умови формування атмосферостійкого покриття на поверхні залізобетонних конструкцій. Запропоновано склад вихідних композицій для захисних покриттів та вивчено їх вплив на атмосферостійкість та довговічність залізобетонних конструкцій в умовах реальної експлуатації. Показано можливість підвищення атмосферостійкості будівельних залізобетонних конструкцій із розробленими захисними покриттями.*

*Ключові слова:* будівельна конструкція, залізобетон, атмосферостійкість, захисне покриття, вихідна композиція, поліметилфенілсилоксан (ПМФС).

L.B. DEMYDCHUK, D.I. SAPOZHNYK  
Lviv University of Trade and Economics

## THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF PROTECTIVE COATING OF BUILDING MATERIAL FROM REINFORCED CONCRETE ON ITS ATMOSPHERE RESISTANCE

*The problem of the possibility of increasing the weather resistance of building reinforced concrete structures by surface treatment of protective coatings, the regularities of the processes of forming a structure-forming base of silicone compounds based on filled polymethylphenylsiloxanes (PMFS); effective materials and conditions of formation of weatherproof covering on a surface of reinforced concrete structures are determined. The composition of the original compositions for protective coatings is proposed and their effect on the weather resistance and durability of reinforced concrete structures in the conditions of actual operation is studied. Accelerated studies of weatherproofing compositions of these coatings have shown their high insulating ability, which depends on the content and type of filler used. The wetting boundary angle for all investigated variants of coating compositions at a temperature of 293 K is greater than 90 degrees, which confirms their high hydrophobicity. Water absorption of coatings on reinforced concrete surfaces is almost 1.5 ... 2 times higher than the similar indicator for concrete due to the lower continuity of the latter, which is determined by the surface relief. The developed variants of the compositions of the protective coatings can be used in conditions of sub-zero temperatures. The proposed method of mechanical dispersion of oxides and silicates in PMFS environment provides the formation of material with improved insulating and protective properties. The action of atmospheric factors does not cause a deep and significant destruction of the protective coatings. The main oxidation processes occur only in the surface layer of the polymer without significantly reducing the content of the filler. The possibility of increasing the weather resistance of building reinforced concrete structures with developed protective coatings is shown.*

*Keywords:* building structure, reinforced concrete, weatherproofing, protective coating, initial composition, polymethylphenylsiloxane.

**Постановка проблеми.** В реальних умовах експлуатації будівельні конструкції піддаються комплексній дії значної кількості атмосферних чинників, що значною мірою зменшує їх корозійну стійкість та може приводити до руйнування. Результатом їх дії є, зокрема, втрата міцнісних характеристик і як результат – руйнування будівельної конструкції із залізобетону. Відомо [1], що довговічність та експлуатаційна надійність будівельних матеріалів і конструкцій визначаються їх стійкістю до дії несприятливих атмосферних факторів, а саме низьких та знакозмінних температур, високої вологості та хімічних реагентів, які знаходяться в атмосфері.

Підвищити атмосферостійкість залізобетонних конструкцій можливо шляхом їх поверхневої модифікації захисними матеріалами різної хімічної природи. Розроблені на даний час склади таких покриттів не в повній мірі забезпечують ступінь необхідного захисту таких будівельних конструкцій в умовах реальної експлуатації. Підвищити довговічність залізобетонних конструкцій можливо шляхом нанесення на їх поверхню наповнених компонентами полісилоксанів, які володіють потрібними експлуатаційними властивостями в широкому діапазоні зовнішніх атмосферних чинників та температур [2, 3]. А їх ефективність залежить від складу нанесеної на матеріали захисної композиції, способу її нанесення, температурного режиму тверднення тощо [4].

Тому виникає доцільність у кількісній оцінці стійкості розроблених складів захисних покриттів до агресивної дії атмосферних чинників.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Поліфункціональні захисні покриття на основі наповнених полісилоксанових композицій характеризуються технологічністю та можуть використовуватися для підвищення атмосферостійкості залізобетонних конструкційних матеріалів внаслідок властивостей, які визначаються їх стабільним структурним та фазовим складом [4]. Разом з тим, вирішення питання впливу способу нанесення захисного покриття на поверхню залізобетону, його товщини, температури тверднення та складу вихідної композиції на стійкість обробленого матеріалу залишається актуальним.

### Формування цілі статті

Метою дослідження було вивчення впливу захисного покриття на основі наповненого оксидними компонентами полісилоксану на властивості атмосферостійкості оброблених ними залізобетонних конструкцій. Склад вихідних композицій для захисних покриттів обрано за допомогою методу математичного планування експерименту [5].

Досліджувані варіанти складів захисних покриттів (табл. 1) наносили на попередньо оброблені поверхні шаром товщиною 0,4...0,6 мм. Режим тверднення покриттів обрано при кімнатній температурі протягом 24 годин для досягнення максимального ступеня мікротвердості (не менше  $120,0 \text{ Н/м}^2 \cdot 10^6$ ).

Таблиця 1

#### Склади вихідних композицій для захисних покриттів

№ складу покриття	Вміст компонентів (наповнювачів), мас. %					
	лак КО-08	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Каолін	Каолінове волокно	Шамотний бій
1	20	40	35	-	5,0	-
2	40	20	38	-	2,0	-
3	25	40	10	20	5,0	-
4	35	35	18	10	2,0	-
5	30	30	22	12,5	3,5	2,0
6	35	25	25	10	2,0	3,0

Прискорені дослідження показників атмосферостійкості складів зазначених захисних покриттів показали їх високу ізолюючу здатність, яка залежить від вмісту та виду використаного наповнювача (табл. 2).

Таблиця 2

#### Фізичні властивості захисних покриттів на залізобетоні

№ складу покриття	Крайовий кут змочування після випробувань при температурі		Водопоглинання після 48 год. експозиції, %
	293 К	243 К	
1	91	90	0,92
2	93	91	0,63
3	97	90	0,27
4	90	88	0,77
5	91	89	0,62
6	92	88	0,29

Крайовий кут змочування для всіх досліджуваних варіантів складів покриттів за температури 293 К більший за 90 градусів, що підтверджує їх високу гідрофобність. Водопоглинання покриттів на залізобетонній поверхні практично у 1,5...2 рази вище, ніж аналогічний показник для бетонної за рахунок нижчої суцільності останньої, що визначається рельєфом поверхні.

Дослідження динаміки змін показників захисної здатності покриттів під дією атмосферних чинників вказує на часткове погіршення їх властивостей, особливо для варіантів складів покриттів, наповнених шамотним боєм, за рахунок їх високої адсорбційної здатності.

Розроблені варіанти складів захисних покриттів можна використовувати і в умовах мінусових температур. Дослідженням встановлено, що експлуатаційні властивості наповнених силіційорганічних покриттів суттєво змінюються в умовах довготривалої дії низьких температур (експозиція 240 год; T = 243 К, підкладка – залізобетон). Для металевих підкладок результати досліджень аналогічні.

Встановлено, що при вказаних температурах (243...293 К) крайові кути змочування становлять 88...91 градуси, що на 1...7 градусів менше порівняно із аналогічними даними для кімнатної температури. При цьому максимальне значення гідрофобних властивостей спостерігається при захисті будівельних конструкцій покриттями складів № 1–3. Тому, показник водостійкості захисних покриттів до дії від'ємних температур залежить в основному від вмісту зв'язуючого та наповнювача.

Відносний ступінь екранування ( $X^1$ ), як показник гідрофобності, залежить від тривалості експозиції та складу покриття. Встановлено (рис. 1), що найбільш стабільні властивості при дії від'ємних температур мають покриття складів № 2 та 5. Після перших 48 год експозиції показник  $X^1$  досягає мінімуму, а після 96 год починається його значне підвищення з наступним поступовим спадом. Показник відносного ступеня екранування стабілізується після 150 год експозиції, а після 240 годин його значення складає 0,42...0,48.

Отже, дія низьких температур (мінус 30 °С) незначною мірою впливає на гідрофобність захисного покриття. При цьому, крайові кути змочування зменшуються не більше ніж на 5...17 градусів, а для більшості варіантів складів покриттів вони становлять близько 90 градусів, за рахунок дії мінерального наповнювача, який значною мірою може знижувати дифузюю води. Але руйнуюча дія води при температурі 243 К може призводити до часткового руйнування самого матеріалу.

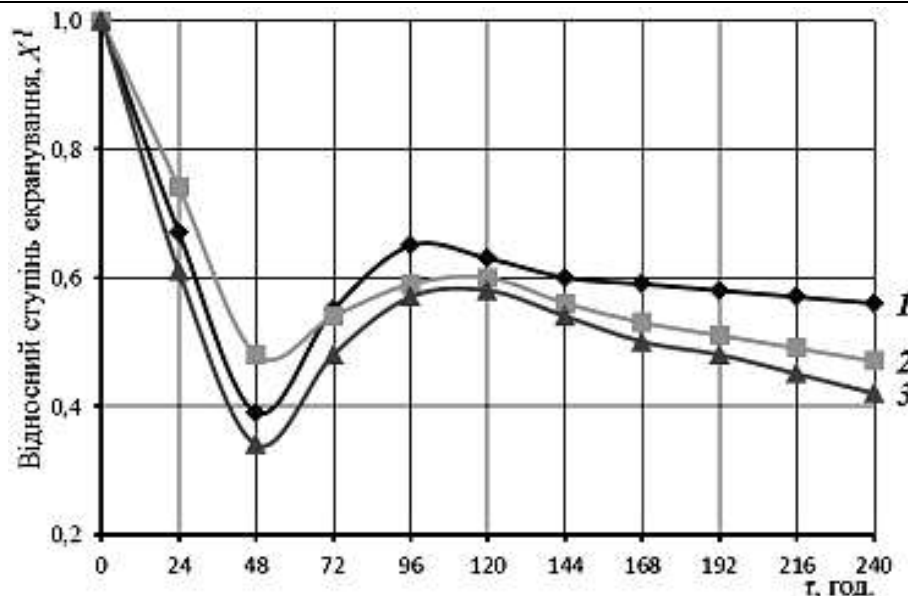


Рис. 1. Залежність відносного ступеня екранування від тривалості експозиції при низьких температурах (243 К) для покриттів на бетоні складів: 1 – склад № 2; 2 – склад № 5; 3 – склад № 6

Проведеними дослідженнями встановлено, що при циклічній дії знакозмінних температур деструкція покриттів, яка впливає на їх гідрофобність, проходить значно глибше (табл. 3). При цьому крайовий кут змочування під час експозиції тривалістю 24 цикли зменшується на 6...18 градусів, а відносний ступінь екранування – на 0,05...0,11.

Таблиця 3

**Крайовий кут змочування покриттів після циклічної дії знакозмінних температур тривалістю 24 цикли**

№ складу покриття	Крайовий кут змочування на залізобетоні, градуси
1	79
2	86
3	93
4	73
5	84
6	83

Аналізуючи результати досліджень атмосферостійкості покриттів необхідно відзначити, що запропонований метод механо-хімічного диспергування оксидів та силікатів у середовищі ПМФС забезпечує формування матеріалу з покращеними ізолюючими та захисними властивостями. Дія атмосферних чинників не викликає глибокого та суттєвого руйнування захисних покриттів. Основні процеси окиснення протікають тільки у поверхневому шарі полімеру без значного зменшення вмісту наповнювача.

Таблиця 4

**Зміна шорсткості поверхні захисних покриттів під час випробувань**

Варіант складу покриття	Показник $R_a$ (чисельник) та $R_z$ (знаменник), мкм	
	у сухих умовах	у вологих умовах
1	0,323 / 0,521	0,412 / 0,912
2	0,357 / 0,537	0,391 / 1,141
3	0,412 / 0,683	0,382 / 1,240
4	0,352 / 0,487	0,253 / 1,007
5	0,381 / 0,510	0,268 / 1,217
6	0,351 / 0,612	0,308 / 1,573

ПРИМІТКА:  $R_a$  – значення шорсткості до випробування;  $R_z$  – значення шорсткості після випробування.

Проходження корозійних процесів у поверхневих шарах покриття підтверджується зміною їх шорсткості. При випробуваннях покриттів у сухому (вологість до 60%) та вологому (вологість 90%) середовищах протягом 1 року встановлено, що максимальне збільшення шорсткості  $R_a$  та  $R_z$  відповідно, складає для складу № 6 (на 48,9%) і мінімальне – для складу № 5 (на 25%), а максимальний і мінімальний показники шорсткості становлять відповідно 0,683 і 0,487 мкм (в сухих умовах). Для вологих умов максимальне збільшення шорсткості спостерігається для складу № 6 (на 80,4%), мінімальне – для складу №

1 (на 54,8%), значення максимальної і мінімальної шорсткості складає відповідно 1,573 і 0,912 мкм (табл. 4).

Мінімальне значення шорсткості характерне для покриття композиційного складу № 5, а максимальне – для складу № 1. Корозійні процеси у покриттях проходять інтенсивніше у вологих умовах, про що свідчать більш високі значення  $R_a$  та  $R_z$ .

Збільшення показника шорсткості візуально підтверджується зміною мікроструктури поверхні захисних покриттів (рис. 2). Найменш інтенсивно цей процес проходить на поверхні покриття композиційного складу № 5. Руйнування відбувається на окремих ділянках розміром до 200×400 мкм.

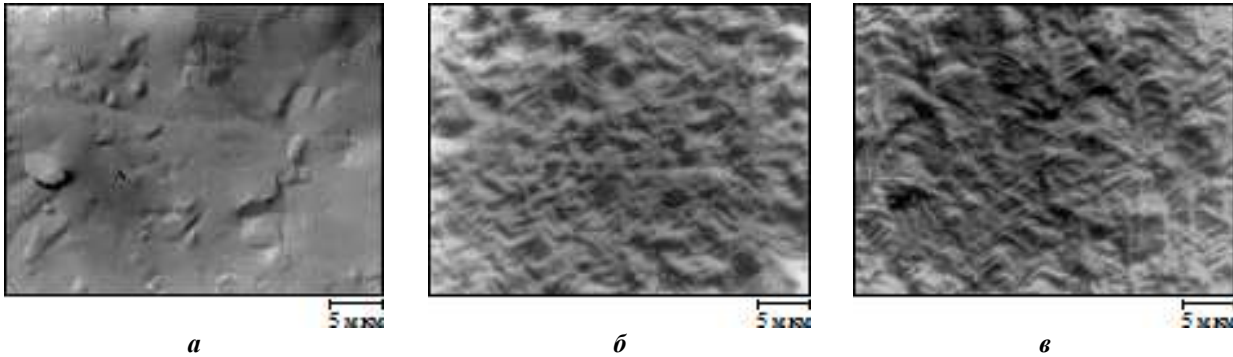


Рис. 2. Мікроструктура захисного покриття складу № 5 після випробувань на атмосферостійкість:  
1 – склад № 2; 2 – склад № 5; 3 – склад № 6

Для визначення змін у складі портландцементного каменю під дією впливу води було сформовано кубики розміром 2×2×2 см з цементного тіста, які після 28 діб тверднення у воді висушувались, оброблялись і розміщувались для подальшого тверднення у вологих умовах.

Рентгенофазовий аналіз свідчить, що цементний камінь, який перебував у водному середовищі до двох років, не пошкоджений навіть у зовнішніх шарах (рис. 3). Оброблені зразки цементного каменю захищеними покриттями, які знаходились в аналогічних умовах протягом 3-х років, практично не змінили свій фазовий склад.

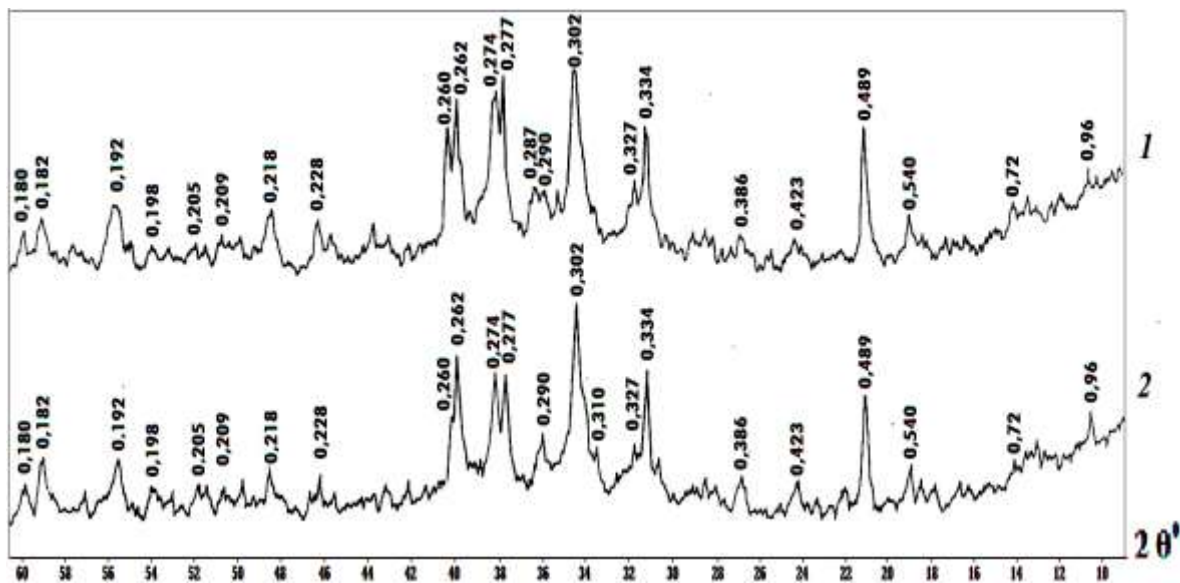


Рис. 3. Дифрактограма цементного каменю після тверднення протягом 2-х років:  
1 – зовнішній шар; 2 – внутрішній шар

На рентгенограмах присутні аналогічні дифракційні максимуми, тільки лінії кальцію гідроксиду частково зменшилися за рахунок його карбонізації.

Адгезійний контакт з поверхнею залізобетону для всіх досліджуваних варіантів захисних покриттів міцний і його руйнування внаслідок дії зовнішнього середовища не виявлено.

### Висновок

Результати прискорених досліджень атмосферостійкості свідчать про високу ізолюючу здатність захисних покриттів, яка залежить від вмісту ПМФС та каоліну. Крайовий кут змочування для всіх покриттів більший за 90 градусів, що підтверджує їх високий показник гідрофобності, а значення водопоглинання складає 0,18...0,72 мас. %. Максимальна деструкція покриттів при від’ємних та знакозмінних температурах призводить до їх часткового руйнування, що підтверджено наявністю корозійних процесів у поверхневих шарах покриття. Незначне зменшення відносного ступеня екранування вказує на ефективність захисної дії

покриття.

Отримані результати свідчать про можливість використання розроблених складів захисних покриттів на основі наповненого оксидними та силікатними компонентами полісилоксану для підвищення атмосферостійкості залізобетонних конструкцій

### Література

1. Сви́дерский В. А. Защитное покрытие на основе модифицированного полифенилсилоксана / В.А. Сви́дерский, А. Х. Сорсер // Прогрессивные лакокрасочные материалы и их применение : матер. семинара. – М. : Знание, 1990. – С. 63–67.
2. Демидчук Л. Б. Органосилікатні температуростійкі покриття для будівельних матеріалів / Л.Б. Демидчук, Гивлюд М. М., Маргаль І. В. // Вісник Хмельницького національного університету : науковий журнал, технічні науки. – 2012. – № 1. – С. 92–96.
3. Демидчук Л. Б. Шляхи підвищення довговічності бетонних конструкцій гідрофобними захисними покриттями / Л. Б. Демидчук, М. М. Гивлюд, Б. В. Федунь // Науковий вісник УкрНДТУ. – Луцьк, 2012. – № 5(18). – С. 51–56.
4. Литовченко С. В. Повышение стабильности многофазных силицидных покрытий на молибдене / С. В. Литовченко, Т. С. Маслова, В. Г. Кириченко // Вісн. НТУ «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2005. – № 52. – С. 94–98.
5. Демидчук Л. Б. Формування складу високотемпературних захисних покриттів будівельних конструкційних матеріалів / Л. Б. Демидчук, М. М. Гивлюд // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – Львів, 2012. – Вип. 22.4. – С. 140–144.
6. Демидчук Л. Б. Дослідження захисних властивостей покриттів на основі поліорганосилоксанових компонентів / Л. Б. Демидчук // Актуальні питання сучасного товарознавства : матеріали II міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. / Мін-во освіти і науки, молоді та спорту України, Донец. Нац. Ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Донцьк : ДонНУЕТ, 2013. – С. 64–66.

### References

1. Sviderskij V. A. Zashitnoe pokrytie na osnove modifitsirovannogo polifenilsiloksana / V. A. Sviderskij, A. X. Sorser // Progressivnye lakokrasochnye materialy i ih primenenie : mater. seminar. – M. : Znanie, 1990. – S. 63–67.
2. Demydchuk L. B. Orhanosylkatni temperaturostiiiki pokryttia dlia budivelnikh materialiv / L. B. Demydchuk, Huvliud M. M., Marhal I. V. // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2012. – № 1. – S. 92–96.
3. Demydchuk L. B. Shliakhy pidvyshchennia dovhovichnosti betonnykh konstruktzii hidrofobnymy zakhysnymy pokryttiamy / L.B. Demydchuk, M. M. Huvliud, B. V. Fedun // Naukovyi visnyk UkrNDTU. – Lutsk, 2012. – № 5(18). – S. 51–56.
4. Litovchenko S. V. Povyshenie stabilnosti mnogofaznykh silicidnykh pokryttij na molibdene / S. V. Litovchenko, T. S. Maslova, V.G. Kirichenko // Visn. NTU «HPI». – Harkiv : NTU «HPI», 2005. – № 52. – S. 94–98.
5. Demydchuk L. B. Formuvannia skladu vysokotemperaturnykh zakhysnykh pokryttiv budivelnnykh konstrukttsiinykh materialiv / L.B. Demydchuk, M. M. Huvliud // Naukovyi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy. – Lviv, 2012. – Vyp. 22.4. – S. 140–144.
6. Demydchuk L. B. Doslidzhennia zakhysnykh vlastyvoستي pokryttiv na osnovi poliorhanosyloksanovykh komponentiv / L.B. Demydchuk // Aktualni pytannia suchasnoho tovaroznavstva : materialy II mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. / Min-vo osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrainy, Donets. Nats. Un-t ekonomiky i torhivli im. M. Tuhan-Baranovskoho. – Dontsk : DonNUET, 2013. – S. 64–66.

Рецензія/Peer review : 7.1.2020 р. Надрукована/Printed : 14.2.2020 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Пелик Л.В.