

М. М. Гивлюд, Ю. Л. Новицький, В. О. Дума, Н. І. Сидор
Національний університет “Львівська політехніка”
кафедра будівельного виробництва,
кафедра автомобільних шляхів та мостів

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПЛИВУ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНУ

© Гивлюд М. М., Новицький Ю. Л., Дума В. О., Сидор Н. І., 2016

Розроблено теоретичні основи підвищення корозійної стійкості бетонів захисними покриттями на основі наповненого алюмінію та цинк оксидами поліметилфенілселоксану. Методами математичного планування експерименту з врахуванням залежності водопоглинання бетону та адгезійної міцності покриття визначено оптимальні склади вихідних композицій для захисних покриттів, визначено їхні технологічні та фізико-механічні властивості, товщину покриття, способи нанесення на поверхню бетону та вивчено умови формування. Оптимізовано склад захисного покриття та досліджено вплив добавок і каолінового волокна на показники водопоглинання адгезійної міцності та корозійної стійкості обробленого бетону. Доведено підвищення стійкості будівельних конструкцій виробів та матеріалів збільшення терміну їх служби, довговічності та зносостійкості нанесенням на їхні поверхні захисних покриттів задля підвищення стійкості поверхонь від дії зовнішніх агресивних чинників. Методами фізико-хімічного аналізу встановлено вплив окремих компонентів покриття на корозійну стійкість бетону. Підтверджено високу гідрофобність поверхні захисного бетону та ізолювальну здатність покриття. Експериментально підтверджено факт підвищення корозійної стійкості обробленого бетону до дії іонів Mg^{2+} та SO_4^{2-} відповідно на 23–38 %, що підтверджує можливість їх використання для підвищення довговічності бетону, який експлуатується в агресивних зовнішніх середовищах.

Ключові слова: бетон, захисне покриття, водопоглинання, мікротвердість, адгезійна міцність, корозійна стійкість.

The article is devoted to development of theoretical foundations of improving corrosion resistance of concrete protective coatings based on filled with aluminum and zinc oxides polymethylphenylsiloxane. Methods of mathematical experiment planning with regard to water absorption depending on the concrete and coating adhesion strength optimum component of the original compositions for protective coatings, determined their technological and physical and mechanical properties, the thickness of the coating, application methods and the surface of the concrete conditions of the studied. Conducted optimization of protective coatings and the influence of additives and kaolin fiber water absorption performance adhesive strength and corrosion resistance of the treated concrete. Provided improve the sustainability of building designs products and materials prolong their service life durability and wear resistance by coating the surface of protective coating for increased resistance to external surfaces from aggressive factors by modifying their protective coverings. Methods of physical and chemical analysis the impact of individual components coating on corrosion resistance of concrete. Confirmed high hydrophobicity of the surface of the protective concrete and insulating ability of the coating. Experimental confirmed fact increase the corrosion resistance of the treated concrete steps to ions Mg^{2+} and SO_4^{2-} respectively 23–38 %, which confirms the possibility of their use for improving the durability of concrete, which is operated in harsh outdoor environments.

Key words: concrete, sheeting, water, microhardness, adhesive strength, corrosion stop bone.

Постановка проблеми. Серед загальних вимог до бетонних та залізобетонних конструкцій найважливішою є довговічність, яка окрім наявності вихідних характеристик якості повинна задовольняти вимоги безпеки та експлуатаційної придатності з належним ступенем надійності протягом заданого терміну експлуатації при різноманітних видах впливу, а саме навантаження, кліматичні та технологічні чинники, поперемінне заморожування та відтавання тощо. Підвищення довговічності бетонних будівельних конструкцій та термінів експлуатації споруд є одним із основних принципів стратегії самого розвитку, яка полягає в мінімізації витрат енергії та матеріальних ресурсів у процесі спорудження та експлуатації будівельних конструкцій із зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище.

Однак згідно з даними натурних обстежень та експертної оцінки фахівців встановлено, що агресивному впливу піддаються в різних галузях народного господарства від 15 до 75 % будівельних конструкцій будівель та споруд, а втрати від корозії становить майже 4 % національного доходу. Тому важливе місце при вивченні стійкості та довговічності будівельних матеріалів і конструкцій займає питання захисту бетону від корозії.

Властивості агресивних середовищ та умови їх впливу на будівельні конструкції різноманітні. Для оцінки характеру корозійного процесу та ступеня агресивного впливу різних речовин, які знаходяться в навколишньому середовищі, згідно з ДСТУ Б В.2.7- 176:2008, використовують класифікацію агресивності середовища експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забезпечити корозійну стійкість та довговічність бетонних та залізобетонних конструкцій в агресивному середовищі можна використовуючи корозостійкі вихідні матеріали і добавки [1]. У випадку їх недостатньої ефективності передбачають захист поверхні конструкції листовими, плівковими або лакофарбовими покриттями [2, 3]. Оскільки поверхня силікатних матеріалів при нормальних умовах є гідратованою, то при нанесення силіцій органічних речовин внаслідок хімічної взаємодії утворюється новий зв'язок Si-O-Si, що призводить до хімічного зв'язування захисного покриття з поверхнею бетону [5]. При цьому проходить зшивання молекул гідрофобізатора у суцільну силоксанову сітку, яка щільно облягає все доступне покриття бетону. Разом з тим утворення в результаті гідrataції цементу портландиту призводить до прискорення корозійних процесів у бетоні при його стації в агресивних середовищах. Показано доцільність використання наповнених полімерних композицій для підвищення довговічності бетонних конструкцій. Тому використання наповнених полімерних композицій є перспективним напрямом у створенні захисних протикорозійних покриттів, які забезпечать необхідну довговічність будівель та споруд [6].

Розробленню та оптимізації складів наповнених органосилікатних композицій присвячено значну кількість робіт, але питання створення захисних покриттів на основі вітчизняних вихідних матеріалів є доволі гострим [7, 8].

Мета роботи. Встановлення можливості використання захисних покриттів на основі наповненого поліметил-фенілсилоксану для підвищення корозійної стійкості бетону до дії зовнішніх агресивних чинників.

Результати досліджень. Для створення рецептурного складу захисного покриття з наповнювачем, що дає змогу коригувати процес структуроутворення для отримання матеріалу з наперед заданими властивостями, використано метод математичного планування, експерименту. Запропоновано такі склади композицій для захисних покриттів (табл. 1.) Агрегативностійкі вихідні композиції для захисних покриттів отримували методами сумісного диспергування компонентів у помельних агрегатах до максимального розміру наповнювача найбільше 40 мкм. Лабораторними дослідженнями визначено текучість вихідної композиції, яка становить 24–30 °С та покривну здатність 240–260 г/м².

Для отримання захисних покриттів на поверхні бетону вивчено вплив режиму затвердіння на його мікротвердість. Для цього вибрано такі режими:

1) 24 год при температурі 20 °С; 2) 2 год при температурі 80 °С; 3) 1 год при температурі 150 °С; 4) 0,5 год при температурі 200 °С.

Склади композицій для захисних покриттів

Варіант складу композицій	Вміст компонентів мас %				
	КО-978 мас %	Al ₂ O ₃	ZnO	Na ₂ SiF ₆	Каолінове волокно
1	40	40	20	-	-
2	50	30	10	10	-
3	45	30	13	10	2
4	45	35	10	9	1

Проведеними дослідженнями встановлено (рис. 1), що найвищих показників мікротвердості 232 МПа досягають при третьому режимі затвердіння, тобто витримкою при 150 °С протягом 1 год. Збільшення вмісту Na₂SiF₆ у складі покриття веде до часткового пониження мікротвердості, але його значення компенсується завдяки введенню каолінового волокна, яке має доволі високу мікротвердість.

Важливою характеристикою розроблених складів захисних покриттів є їх довговічність. Дослідженнями встановлено, що всі розроблені складні захисних покриттів володіють довговічністю понад 12 років при температурі випробувань 20 °С. Підвищення температури випробувань до 40 °С знижує довговічність тільки покриття складу від 1 до 8 років внаслідок високого вмісту ZnO та відсутності в його складі Na₂SiF₆ та каолінових волокон. Наявність в складі захисного покриття волокон підвищує його довговічність.

Однак враховуючи технологічні складності забезпечення такого режиму затвердіння покриття при нанесенні на бетонну поверхню та енергетичні затрати вибрано перший режим затвердіння протягом 24 год при температурі 20 °С, що дає змогу одержувати покриття з мікротвердістю 207–219 МПа. Суть нанесення вихідних композицій для захисних покриттів така. На попередньо висушений до вологості 3мас % бетон, очищений від пилу та відколів за допомогою пульверизатора, наносять шар композиції заввишки 0,6–0,8 мм. Кращі результати отримують при пошаровому нанесенні захисного покриття у 2 або 3 прийоми з шарами завширшки відповідно 0,2 та 0,3 мм кожний. Необхідно врахувати, що після кожного нанесення необхідне витримання протягом 4–5 год. Затвердіння рекомендується проводити після остаточного нанесення 24 год при температурі 20±5 °С.

Оброблений захисними покриттями бетон можна використовувати в умовах дії хімічних реагентів. Тому їх хімічна стійкість визначається здатністю протидіяти впливу кислих та лужних середовищ, особливо у зоні контакту. Швидкість процесів хімічної корозії захисних покриттів, переважно, залежить як від їх компонентного складу, так і від структурних особливостей, а саме стану поверхні, пористості та ступеня закристалізованості наповнювача. Значно впливають на корозійні процеси вид вуглеводневого радикала біля атома силіцію, будова полімеру та його молекулярна маса.

Довговічність та захисна здатність покриття для бетону під час експлуатації у вологих умовах залежать від величини і стабільності адгезії, яка визначається силами механічного зчеплення покриття з поверхнею бетону, та силами міжатомної взаємодії і хімічною взаємодією між фазами на межі контакту. Оскільки поверхня бетону гідратована, то при нанесенні покриття внаслідок хімічної взаємодії з поліметилфенілсилоксаном утворюються нові силоксанові зв'язків, які відіграють основну роль у формуванні адгезійного контакту.

Значно впливає на показник адгезійної міцності ступінь підготовки поверхні бетону та наявність внутрішніх напружень, які виникають внаслідок об'ємного зсідання покриття під час його формування. Адгезійна міцність покриттів після затвердіння на повітрі для всіх складів при товщині нанесення 0,1 мм знаходиться в межах 4 Мпа. Максимальне значення адгезійної міцності для всіх досліджуваних складів покриттів (6,2–7,1МПа) спостерігається при його товщині

0,3–0,4 мм. Збільшення товщини покриття понад 0,4 мм приводить до плавного зменшення адгезійної міцності, яка при товщині 1 мм становить 2,2–3,2 МПа. Необхідно зазначити, що введення до складу покриття гекса флюорсилікату натрію збільшує показник адгезійної міцності на 10–12 %, а каолінового волокна – на 15–45 %, що пояснюється армувальною дією цих тонкодисперсних волокон.

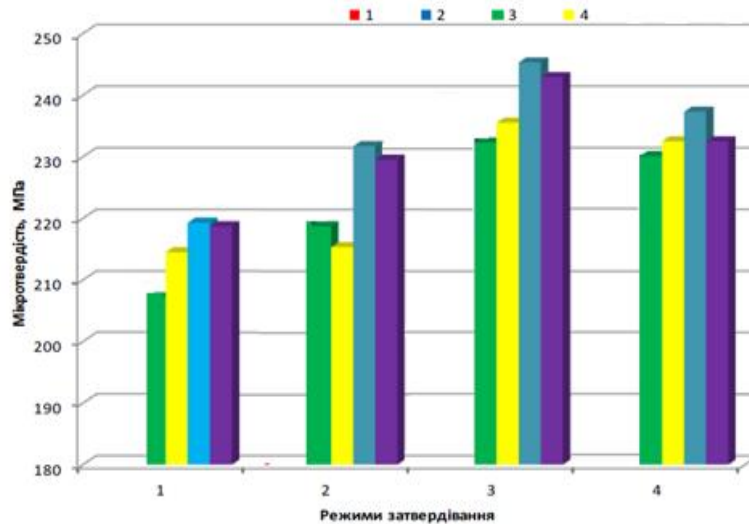


Рис. 1. Залежність мікротвердості захисних покриттів різних складів від режиму затвердіння

Збільшення товщини покриття понад 0,4 мм приводить до плавного зменшення адгезійної міцності, яка при товщині 1 мм становить 2,2–3,2 МПа. Введення до складу покриття гексафлюорсилікату натрію збільшує показник адгезійної міцності на 10–12 %, а каолінового волокна – на 15–45 %, що пояснюється армувальною дією цих тонкодисперсних волокон.

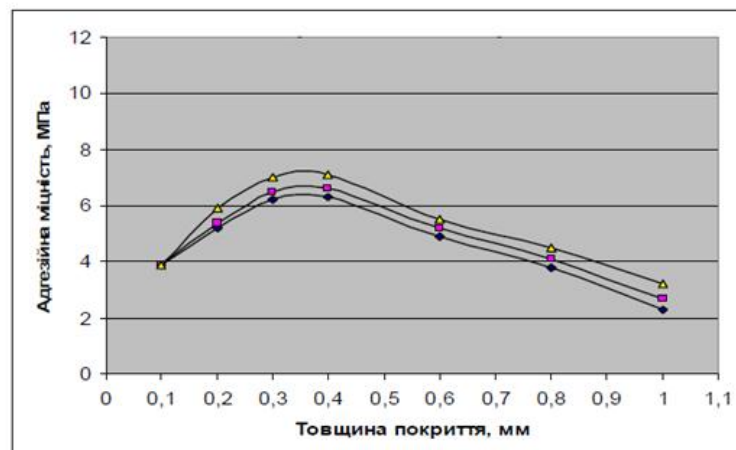


Рис. 2. Залежність адгезійної міцності від товщини покриття на бетон зі складом покриття, мас. %: \blacklozenge – KO-08 – 40; Al_2O_3 – 40; ZnO – 20; \square – KO – 08 – 50; Al_2O_3 – 30; ZnO – 10; Na_2SiF_6 – 10; \triangle – KO – 08 – 45; Al_2O_3 – 30; ZnO – 13; Na_2SiF_6 – 10; каліонова вата – 20

Захисний ефект покриття, який визначає довговічність бетону, залежить від стану його поверхні, а саме наявності розривів та тріщин, крізь які вглиб матеріалу може проникати вода та інші зовнішні агресивні компоненти. Під дією цих чинників у самому покритті можуть проходити

корозійні процеси внаслідок взаємодії мінерального наповнювача з водою та хімічними сполуками, що значно прискорює фізико- хімічну деструкцію зі зміною структури. Стійкість захисних покриттів до дії води свідчить про доцільність вибору оксидних наповнювачів (табл. 2).

Таблиця.2

Водопоглинання бетону, обробленого захисними покриттями

Склади покриття №з/п	Водопоглинання, мас. %, бетону, класу							
	C16/20				C25/30			
	Час перебування у воді, діб							
	1	10	20	30	1	10	20	30
Без покриття	5,8	6,9	7,0	7,1	4,6	5,0	5,1	5,1
1	1,3	1,8	2,2	2,2	1,1	1,7	2,1	2,1
2	1,2	1,7	2,0	2,1	1,2	1,6	2,0	1,9
3	1,2	1,6	1,8	2,0	1,0	1,5	1,8	1,8
4	1,3	1,5	1,7	1,8	1,2	1,6	1,8	1,9

Водопоглинання розроблених складів покриттів зменшується після 30 діб перебування у воді з 6,9 до 1,6–2,2 мас % для бетону C16/20 та з 5,0 до 1,5–2,1 мас % для бетону C25/30.

Водопоглинання захищених зразків залежить від виду наповнювача, особливо від вмісту оксиду. Введення останнього при однаковому вмісті алюмінію оксиду та $Na_2 SiF_6$ водопоглинання на 0,2–0,4 мас. %.

Дослідження корозійної стійкості дрібнозернистого бетону із захисними покриттями визначали за змінної міцності зразків при витримуванні їх в агресивному середовищі розчинів Na_2SO_4 та $MgCl_2$ з концентрацією іонів SO_4^{2-} і Mg^{2+} 10000 мг/л. Коефіцієнт корозійної стійкості дрібнозернистого бетону без покриття через 360 діб зберігання зразків у розчині $MgCl_2$ визначений за результатами випробувань міцності на стиск становить 0,78, тоді як бетону з покриттями складу 2- 2-0,96 з покриттями складу 4–0,87. Коефіцієнт корозійної стійкості дрібнозернистого бетону через 360 діб зберігання зразків у розчині без покриття становить 0,94, тоді як з бетону покриттям складу 2 - - 0,97, з покриттям складу 4 – 0,94. Тобто захисні покриття підвищують стійкість бетону в агресивному середовищі.

Для дрібнозернистого бетону без покриття витриманого 180 діб в агресивному середовищі Na_2SO_4 характерна дрібнокристалічна структура спостерігаються довгі призматичні кристали еtringіту, з розмірами перерізу 220–750 нм. Кристалізація еtringіту відбувається переважно в мікропорах і на поверхні заповнювача, тобто на границі фаз "цементний камінь – заповнювач", оскільки цементний камінь має на поверхні границі фаз вищу пористість. Кристалізація еtringіту супроводжується збільшенням об'єму в 2,5–2,86 рази, швидкий ріст кристалів еtringіту при тривалій дії сульфатів спричиняє руйнування структури бетону. Структура цементного каменю дрібнозернистого бетону з захисними покриттями представлена блоками кристалів у вигляді гексагональних пластин, які зрослись у двійниковому положенні в результаті геометричного відбору кристалів, які можна віднести до $Ca(OH)_2$ та Afm -фаз. Дані мікрозондового аналізу свідчать, що основні продукти гідратації цементу портландит та гідросилікати не зазнали змін внаслідок впливу агресивного середовища. На основі проведеної порівняльної характеристики впливу захисних покриттів на комплекс властивостей бетонів встановлено, що бетон, оброблений розробленими складами захисних покриттів, характеризується водопоглинанням 1,2–2,1 %, підвищеною міцністю на стиск 43,7–47,4 МПа та коефіцієнтом корозійної стійкості до дії іонів Mg^{2+} SO_4^{2-} відповідно на 23–38 % порівняно з бетонами без покриття. При цьому довговічність захисного покриття зростає в 4 рази внаслідок значного підвищення гідрофобності поверхні бетону порівняно з базовим зразком, обробленим ГКЖ -11.

Висновок. Запропоновано склади вигідних композиційних захисних покриттів для підвищення корозійної стійкості бетону. Експериментально підтверджено зниження водопоглинання бетону у 4,1–4,6 рази та підвищення корозійної стійкості на 23–38 %. Враховуючи отримані результати досліджень, розроблені склади покриттів на основі наповненого алюмінію, цинку оксидами поліметилфенілсилоксану з додатками гексафлюорсилікату натрію та каолінового волокна можна використовувати для підвищення довговічності бетону, який експлуатується в агресивному зовнішньому середовищі.

1. Бабушкин В. И. *Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа* / В. И. Бабушкин. – Харьков: Вища школа, 1999. – 168 с. 2. Силоченко С. В. *Изменение поврежденности цементного камня в условиях многократного увлажнения и высушивания* / С. В. Силоченко, А. С. Дорофеев // *Вісник Одеської академії буд-ва та арх-ри.* – 2005. – № 20. – С. 186–189. 3. Добрянський І. М. *Вплив кремнійорганічної добавки ГКЖ-94 на властивості бетону* / І. М. Добрянський, І. І. Ніконець // *Будівельні матеріали.* – 2001. – № 4. – С. 31–34. 4. Піднебесний А. П. *Новий гідроізоляційний матеріал на основі атмосферних полімерів* / А. П. Піднебесний, Н. В. Савельєва та ін. // *Будівництво України.* – 2008. – № 5. – С. 30–32. 5. *Коррозия бетона и железобетона: методы их защиты* [В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев]. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с. 6. Федосов С. В., *Сульфатная коррозия бетона* / С. В. Федосов, С. М. Базанов. – М.: Изд-во АВС, 2003. – 192 с. 7. Свидерский В. А. *Полифункциональные кремнийорганические защитные покрытия на основе оксидов и силикатов* / В. А. Свидерский. – К., 1987. – 466 с.