

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ДОБАВОК НА ОСНОВІ ПОЛІКАРБОКСИЛАТІВ В ТЕХНОЛОГІЇ ДОРОЖНІХ БЕТОНІВ

Шевчук Г.Я., к.т.н, доцент,  
Топилко Н.І., к.т.н., асистент,  
Новицький Ю.Л., к.т.н., ст. викладач,  
Національний університет «Львівська політехніка»  
shevchuk@ukr.net

Гнип О.П., к.т.н, доцент,  
Одеська державна академія будівництва та архітектури

**Анотація.** Розроблено цементний бетон для доріг з жорстким покриттям з використанням комплексних добавок на основі полікарбоксилатів. Показано, що застосування в складі цементобетону суперпластифікатора та повітрязахоплюючої добавок модифікує структуру бетону, підвищує міцність і довговічність дорожнього покриття. Міцність при стиску розроблених складів бетонів становить 24,0-42,8 МПа, що відповідає класу бетону В25-В30 при оптимальних витратах портландцементу ( $350-390 \text{ кг/м}^3$ ) і комплексної добавки (0,5-0,7% маси цементу). За результатами експерименту встановлено, що використання комплексних добавок на основі полікарбоксилатів покращує експлуатаційні показники дорожніх бетонів, зокрема, забезпечує високу зносостійкість (стирання знижується на 60%). Проведені дослідження фізико-механічних характеристик бетонів і застосування методу математичного планування експерименту дозволили запропонувати їх склади в технології дорожніх бетонів. Комплексна добавка може давати і значну економічну вигоду при використанні місцевих матеріалів в цементобетонному покритті.

**Ключові слова:** цементобетон, комплексна добавка, міцність, дорожнє покриття.

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ ПОЛИКАРБОКСИЛАТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ

Шевчук Г.Я., к.т.н., доцент,  
Топылко Н.И., к.т.н., ассистент,  
Новицкий Ю.Л., к.т.н., ст. преподаватель,  
Национальный университет «Львовская политехника»  
shevchuk@ukr.net

Гнып О.П., к.т.н., доцент,  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

**Аннотация.** Разработан цементный бетон для дорог с жестким покрытием с использованием комплексных добавок на основе поликарбоксилатов. Показано, что использование в составе цементобетона суперпластификатора и воздухововлекающей добавки модифицирует структуру бетона, повышает прочность и долговечность дорожного покрытия. Прочность при сжатии разработанных составов бетонов составляет 24,0-43,8 МПа, что соответствует оптимальному количеству портландцемента ( $350-390 \text{ кг/м}^3$ ) и комплексной добавки (0,5-0,7% массы цемента). По результатам эксперимента установлено, что использование комплексных добавок на основе поликарбоксилата улучшает эксплуатационные показатели дорожных бетонов, а, именно, обеспечивает высокую износостойкость (стирание снижается на 60%). Проведенные исследования физико-

механических характеристик бетонов и использование метода математического планирования эксперимента позволили предложить их составы в технологии дорожных бетонов. Комплексная добавка может давать и значительную экономическую выгоду при использовании местных материалов в цементобетонном покрытии.

**Ключевые слова:** цементобетон, комплексная добавка, прочность, дорожное покрытие.

## USAGE PATTERN OF COMPLEX ADDITIVES BASED ON POLYCARBOXYLATES IN ROAD CONCRETE TECHNOLOGY

**Shevchuk G.J.**, PhD, Assistant Professor,  
**Topylko N.I.** PhD, Assistant,  
**Novyckiy J.L.** PhD, Assistant,  
*Lviv Politechnic National University*  
shevchuk @ukr.net

**Gnyr O.P.**, PhD, Assistant Professor,  
*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

**Abstract.** Cement concrete for roads with a hard coating using the complex admixture on the base of polycarboxylates was developed. It is shown that the composition using and air-entraining cement concrete superplasticizer admixture modifies concrete structure, improves its strength and pavement durability. The compressive strength developed with concrete compositions is 24,0-43,8 MPa, which corresponds to the optimum amount of Portland cement (350-390 kg / m<sup>3</sup>) and the complex admixture (0.5-0.7% of cement weight). According to the experimental results it was revealed that the using of complex additives based on polycarboxylate improves operational performance of concrete roads, but it provides a high wear resistance (erasing is reduced by 60%). The carried out concretes physical and mechanical characteristics researches and applying of an experiment mathematical planning method have allowed offering their structures in technology of road concretes. A complex admixture can also provide significant economic benefits when using local materials in a cement-concrete coating.

**Keywords:** cement concrete, complex admixture, strength, road covering

**Вступ (постановка проблеми).** Найважливішим елементом автомобільної дороги є дорожній одяг. Від його якості залежать такі транспортно-експлуатаційні показники, як безпека дорожнього руху, термін служби і строки окупності капіталовкладень, собівартість перевезень. Цементобетонне покриття в дорожньому одязі відносять до одного із найбільш довговічних типів конструкції (термін служби складає 20-30 років). Довговічність таких покриттів, в значній мірі, визначається тим, наскільки властивості бетону відповідають умовам роботи конструкції.

Проблема довговічності цементобетонних покриттів носить комплексний характер. При її розв'язанні необхідно враховувати взаємозв'язок складу бетонної суміші і бетону, технологічних факторів, експлуатаційних та кліматичних умов. Завдання збільшення частки доріг з жорстким цементобетонним покриттям є актуальним на сьогоднішній день, а якість та довговічність таких доріг зумовлена якістю бетонного покриття [1].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Під час будівництва дорожніх одягів використовують органічні і неорганічні в'язучі, кам'яні матеріали, асфальто- і цементобетонні суміші. В технології дорожніх бетонів покриттів також широке застосування знаходять хімічні добавки, які дозволяють направлено впливати на процеси структуроутворення бетону, модифікувати структуру бетонної суміші та покращувати експлуатаційні властивості.

Відомо [2], що технологія підвищення довговічності бетонів нерозривно пов'язана із

зменшенням значень водоцементного відношення за рахунок використання пластифікаторів, що веде до отримання високих показників міцності. Хімічну природу пластифікаторів визначає їх водоредукуючий ефект (лігносульфонати технічні забезпечують водоредукуючий ефект на 5-15%, поліакрилати – 20-30%, аполікарбоксилати – 25-40%). При приготуванні бетонів водоцементне відношення у бетонній суміші для влаштування одношарових і верхнього шару двошарових покриттів повинно бути не більше за 0,5, а для нижнього шару двошарових покриттів – не більше за 0,6, тому питання зниження кількості води в таких бетонних сумішах є актуальним. Застосування комплексних хімічних добавок надає також можливість реалізувати ефект незалежності від хіміко-мінералогічного складу цементу, і певною мірою, від складу бетонної суміші. Разом з тим, комплексна добавка може давати і значну економічну вигоду при використанні в цементобетонному покритті місцевих матеріалів.

Аналіз будівництва та експлуатації автомобільних доріг з використанням дорожнього покриття із цементобетону показує, що найбільш перспективним матеріалом для цього є модифікований бетон. Над питанням застосування таких бетонів в технології дорожнього будівництва працює багато вчених [3-5]. Підвищеною економічністю, довговічністю при достатньо високих показниках міцності характеризується цементобетон виготовлений із застосуванням високоякісних добавок модифікуючої дії. До них відносяться суперпластифікатори третього покоління на основі полікарбоксилатів або, так званих, розкислювачів води. Ці добавки відрізняються дуже невеликими дозуваннями при значному ефекті дії. Одержувана композиція матеріалів на основі сучасних полімерів, дозволяє отримати необхідний ефект з різними видами цементів і заповнювачів, тому їх можна застосовувати в технології виготовлення дорожніх бетонів різних класів по міцності [6].

**Мета та завдання.** Дослідження використання комплексних добавок на основі полікарбоксилатів в технології дорожніх бетонів з покращеними фізико-механічними характеристиками дорожніх покриттів. Підбір складів цементобетонів для будівництва дорожніх конструкцій за допомогою методу математичного планування експерименту.

**Результати досліджень.** В даній роботі в якості в'язучого застосовано портландцемент типу ПЦ II/A-III 400, його кількість в бетонних сумішах, згідно плану експерименту, становила від 350 до 390 кг/м<sup>3</sup> бетону. Заповнювачами служили щебінь гранітний фр. 5-10мм і фр. 10-20мм, а також пісок кварцовий з модулем зернистості 1,4.

При проведенні експерименту цементобетони отримували із бетонних сумішей різних складів, як з комплексними добавками, так і без них. Комплексною добавкою до бетонної суміші вибрано суперпластифікатор на основі полікарбоксилатів SikaViscoCrete –5-600 NPL в кількості 0,5–1,0% маси цементу та повітрязахоплюючу добавку SikaMixPlus, яку додавали в кількості 0,1 % маси цементу до всіх складів бетонів. Застосування повітрязахоплюючої добавки дозволяє формувати в бетоні систему умовно-замкнених пор, що забезпечує необхідну морозостійкість дорожніх бетонів. Комплексна добавка до бетонної суміші вводилась з водою замішування. Приготовані бетонні суміші по осадці конуса відносяться до малорухливих (P=1-4см). Фізико-механічні характеристики бетону визначались за стандартними методиками. Результати випробувань цементобетонів та вплив комплексної добавки на властивості бетонної суміші і бетону наведені в табл. 1.

Дані табл.1 свідчать, що рухливість бетонної суміші всіх складів становила від 2,5 до 3,0см, тому потребувала вібрування. Водоцементне відношення (В/Ц) коливалось в межах 0,35-0,43 в залежності від кількості добавки і кількості цементу. Бетонні суміші без добавки (склад №1,4,8) характеризуються водоцементним відношенням 0,41-0,43 в залежності від витрати цементу при сталій рухливості. Введення комплексної добавки в кількості 0,5-1,0% маси цементу зменшує водопотребу бетонних сумішей на 15-20%, а В/Ц знижується від 0,43 до 0,35, що пов'язано із зниженням поверхневого натягу води комплексними добавками, дефлокуляцією цементних зерен, і це дає можливість збільшувати рухливість бетонної суміші, не підвищуючи при цьому водопотреби.

Таблиця 1 – Вплив комплексної добавки на властивості бетонної суміші і дорожнього цементобетону (зразки–куби 10×10×10 см)

№ п/п	Кількість портланд-цементу кг/м <sup>3</sup>	Кількість добавки, % маси цементу	В/Ц	Осадка конуса, см	Міцність на стиск, МПа, через, діб			
					2	3	7	28
1.	350	-	0,42	3,0	6,0	9,5	12,4	20,6
2.	350	0,5	0,39	2,5	8,6	10,3	13,2	24,0
3.	350	0,7	0,36	2,5	9,5	10,7	15,0	28,5
4.	370	-	0,43	3,0	8,8	14,0	23,3	30,1
5.	370	0,5	0,40	3,0	10,2	18,2	24,4	37,0
6.	370	0,7	0,38	2,5	12,8	19,6	25,6	42,8
7.	370	1,0	0,35	2,5	13,1	21,2	27,0	40,1
8.	390	-	0,41	3,0	10,9	15,2	26,2	32,8
9.	390	0,5	0,38	3,0	12,5	19,8	27,1	41,2
10.	390	0,7	0,36	2,5	15,3	20,3	28,9	43,8

Аналіз отриманих результатів (табл. 1) випробування на міцність еталонних зразків із цементобетону показав, що на другу добу тверднення вони набирають 6,0-10,9 МПа в залежності від витрати цементу, а на третю і сьому добу міцність зростає до 9,5-15,2 МПа та 12,4-26,2 МПа відповідно, через місяць тверднення марка бетону відповідає класу В25.

Введення комплексної добавки від 0,5 до 0,7% (склад №2-3) при витраті портландцементу 350 кг/м<sup>3</sup> сприяє підвищенню ранньої міцності (2 доби) до 8,6-9,5 МПа. У віці 28 діб міцність таких бетонів становить 24,0-28,5 МПа, що на 4,0-8,5 МПа більше міцності бетону без добавок. Збільшення витрати цементу до 370 кг/м<sup>3</sup> підвищує ранню міцність бетону до 10,2-12,8 МПа. Застосування комплексної добавки в кількості до 1,0% (склад №7) є недоцільним, так як це приводить до зниження марочної міцності бетону. Зростання витрати цементу на 40 кг/м<sup>3</sup> в складі бетонної суміші підвищує міцність бетонів з комплексними добавками (склад № 9-10) в 1,2-1,5 раз порівняно з бездобавочним бетоном. Аналогічне підвищення міцності бетонів з добавками спостерігається і при подальшому твердненні (через 3 та 7 діб). В результаті проведених досліджень встановлено, що цементобетони модифіковані комплексними добавками досягають класу В30. Слід відзначити, що використані комплексні добавки на основі суперпластифікаторів з полікарбоксилатною основою характеризуються оптимальним дозуванням, тривалим збереженням початкової консистенції завдяки особливому механізму їх дії (в результаті стеричного ефекту довгі ланцюги полімерів створюють об'ємну захисну оболонку навколо зерен цементних частинок, сприяючи взаємному відштовхуванню та перешкоджають їх зближенню).

Використання експериментально-статистичних моделей в задачах модифікування бетону направлено на прийняття раціональних технологічних рішень, що забезпечують підвищення якості технології та матеріалу при зниженні часових затрат на експериментальні дослідження. Сучасні суперпластифікатори надають широкі можливості для одержання дорожніх цементобетонів високої міцності. При цьому ефективність їх дії необхідно розглядати в нерозривному зв'язку з основними факторами технології з метою оптимізації складу і мінімалізації кількості добавки [7]. Методами математичного планування експерименту з використанням матричного підходу до регресивного аналізу і знаходження коефіцієнтів рівнянь регресії проведено оптимізацію комплексної добавки модифікатора, яка містить суперпластифікатор і повітрязахоплюючу добавку.

Дослідження властивостей цементобетонів модифікованих комплексною добавкою проводились з урахуванням двох чинників впливу за 9-ти точковим планом. Варіювалися

наступні чинники складу матеріалу:  $x_1$  – кількість портландцементу (від 350 до 390 кг/м<sup>3</sup>);  $x_2$  – кількість добавки SikaViscoCrete. Для підвищення кількості захопленого повітря вводилась добавка SikaMixPlus (0,1% маси цементу) у всі склади бетону. Оцінка впливу модифікуючої добавки проводилась по міцності бетону у віці 2–28 діб. Для порівняння використано досліди на складах бетону без добавок. При проведенні досліджень визначалась також густина бетонної суміші і кількість захопленого повітря. Основні характеристики плану експерименту та матриця планування і результати експерименту наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – План експерименту, склади та фізико-механічні випробування дорожніх цементобетонів

№ п/п	Матриця планування експерименту				Вихідні показники			
					Границя міцності зразків на стиск, МПа, через, діб			
	$x_1$	ПЦ	$x_2$	SV	2	3	7	28
1.	-1	350	-1	0	6,0	9,5	12,4	20,6
2.	0	370	-1	0	8,8	14,0	23,3	36,1
3.	1	390	-1	0	10,9	15,2	26,2	39,0
4.	-1	350	0	0,5	8,6	10,3	13,2	24,0
5.	0	370	0	0,5	10,2	18,2	24,4	37,0
6.	1	390	0	0,5	12,5	19,8	27,1	41,2
7.	-1	350	1	0,7	9,5	10,7	15,0	28,5
8.	0	370	1	0,7	12,8	19,6	25,6	42,8
9.	1	390	1	0,7	15,3	20,3	28,9	43,8

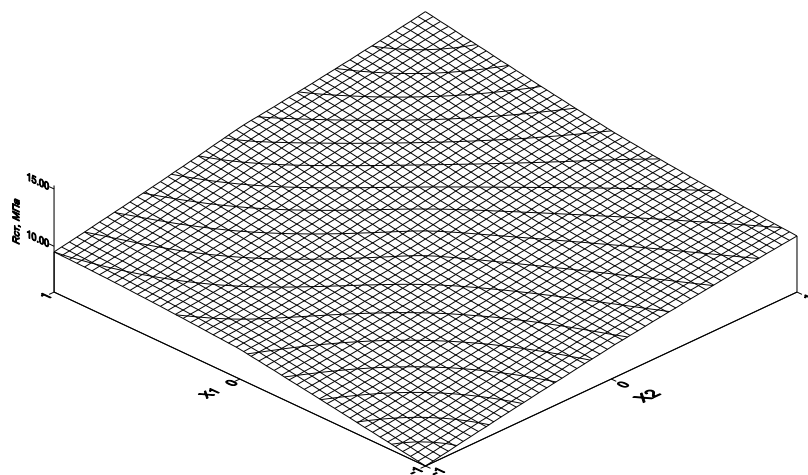
На основі експериментальних даних в заданому інтервалі одержано регресійні рівняння міцності. Графічний аналіз моделей (рис. 1) показує, що в залежності від витрати в'язучого діапазон оптимальної кількості комплексної добавки складає 0,5-0,7%, а вибір дозування залежить від конкретних рецептурно-технологічних умов. Оптимізація складів бетонів показала, що найвищі показники міцності можна отримати при введенні 0,7% комплексної добавки при витраті портландцементу 390 кг/м<sup>3</sup> бетону.

Міцність бетону та його структурні особливості суттєво впливають на експлуатаційні властивості досліджуваних бетонів, а одночасно і на його довговічність, яка визначається не тільки стійкістю до дії навантажень, але і експлуатаційними показниками, одним із яких є стійкість до дії абразивного зношування. В роботі вивчалось питання зношування дорожнього бетону, особливо поверхневого шару, при розробці його нових різновидів. Експериментально підтверджено, що стирання бетонів проходить переважно за рахунок руйнування цементного каменю у міжзерновому просторі. Ступінь зношування бетону на портландцементному в'язучому ПЦ П/А-Ш400 з міцністю на розтяг при вигині 5,10 МПа і на стиск – 32,8 МПа становить: втрата маси – 0,84 г/см<sup>2</sup> на глибину 4,0 мм. Комплексна добавка модифікуючої дії в кількості 0,7% дозволяє знизити стирання цементобетону на 60% при його міцності на розтяг при вигині 6,15 МПа і на стиск – 41,2 МПа. Втрата маси при цьому складає 0,52 г/см<sup>2</sup>, а глибина стирання – 2,4 мм. Встановлено, що застосування дорожніх бетонів з модифікованою макроструктурою забезпечує їх високу зносостійкість.

**Висновки.** Проведеними дослідженнями показано, що використання комплексних добавок на основі полікарбоксилатів дозволяє розробити оптимальні склади цементобетонів для дорожніх покриттів з використанням методу математичного планування експерименту. Встановлено, що довговічність дорожнього одягу із цементобетону жорсткого типу характеризується високими фізико-механічними показниками та підвищеними техніко-експлуатаційними якостями покриття. Використання сучасних технологій і бетонів із властивостями, що відповідають умовам експлуатації та інших технічних заходів, дозволяє за вартістю цементобетонним покриттям модифікованої структури конкурувати з

асфальтобетонними, а при використанні місцевих матеріалів і засобів малої механізації ставить такі покриття по цінових показниках нижче, ніж асфальтобетонні.

2 доби



28діб

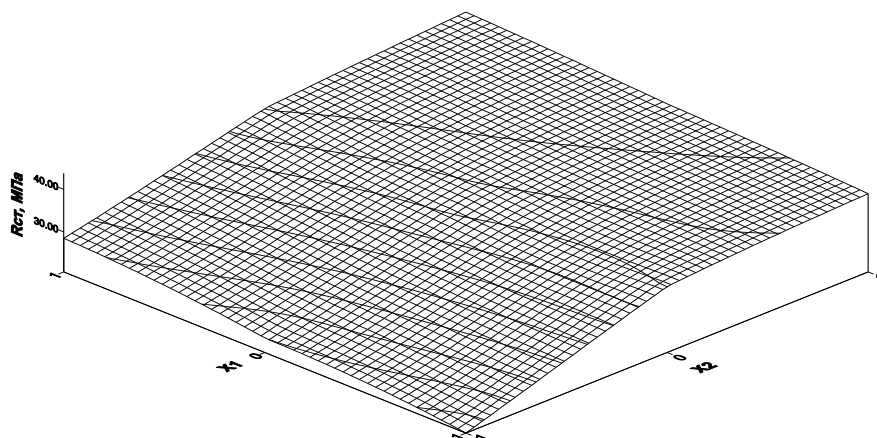


Рис.1. Вплив варійованих факторів складу цементобетону на міцність при стиску у віці 2 і 28 діб тверднення

### Література

1. Гамеляк І.П. Застосування цементобетонного покриття в дорожньому будівництві / І.П. Гамеляк, В.В. Смолянець // Дорожня галузь України. – 2013. – № 6. – С. 46-51.
2. Дорожні одяги: навч. посібник / С.Й. Солодкий. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 164 с.
3. Мазурак О.Т. Портландцементи з комплексними модифікаторами на основі полікарбоксилатів: автореф. дис. канд. техн. наук. – Львів: Національного університету «Львівська політехніка», 2006. – 20 с.
4. Саницький М.А. Модифікатори нової генерації для бетонів / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марушак, М.М. Чемерис та ін. // Будівельні матеріали та вироби. – 2006. – № 1. – С. 5-7.
5. Солоненко И.П. Модифицированные цементобетонные композиции для дорожного покрытия / И.П. Солоненко // Вестник ОГАСА. – Вып. № 48. – Одесса, 2012. – С. 98-103.
6. Саницький М.А. Високофункціональні бетони на основі модифікаторів нової генерації / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, І.І. Кіракевич // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. – 2008. – № 627. – С. 191-197.
7. Коваль С.В. Моделирование и оптимизация состава и свойств модифицированных бетонов. – Одесса, 2012. – 424 с.

Стаття надійшла 6.04.2017