

Ю. М. Собко, Г. Я. Шевчук, Н. І. Топилко, Ю. Л. Новицький
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автомобільних доріг та мостів

ДОРОЖНІ ЦЕМЕНТОБЕТОНИ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ ДОБАВОК НОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

© Собко Ю. М., Шевчук Г. Я., Топилко Н.І., Новицький Ю. Л., 2018

Розроблено склади модифікованих бетонних сумішей і цементобетонів із заданими експлуатаційними параметрами. В процесі проведення експерименту цементобетони отримували із бетонних сумішей різних складів з модифікуючими добавками нової генерації, які містять суперпластифікатор на основі полікарбоксилатів та повітрязахоплюючу добавку. Суперпластифікатор вводили до бетонної суміші з водою замішування в кількості 0,6; 0,8 і 1,0 % маси цементу, а добавку-аерант – в кількості 0,1 % маси цементу до усіх складів бетонів. Досліджено вплив модифікуючих добавок на властивості дорожніх цементобетонів. Показано ефективність їх використання в дорожніх покриттях, що забезпечує покращені технологічні параметри, підвищену міцність та довговічність. Повітрязахоплююча добавка-аерант в комплексі із суперпластифікатором дає змогу посилити пластифікацію бетонної суміші, а також підвищити морозостійкість та водонепроникність. Визначено техніко-економічну ефективність застосування дорожніх цементобетонів на основі модифікуючих добавок нової генерації та встановлено, що конструкція із цементобетонного покриття дешевша в 1,6 рази ніж конструкція дорожнього одягу із асфальтобетону за вартістю будівельно-монтажних робіт.

Ключові слова: дорожній цементобетон, модифікуюча добавка, міцність, дорожнє покриття.

Y. Sobko, H. Shevchuk, N. Topylko, Y. Novytskij
Lviv Polytechnic National University,
Department of Roads and Bridges

ROAD CEMENT CONCRETES BASED ON MODIFIED ADDITIVES OF NEW GENERATION

© Sobko Y., Shevchuk H., Topylko N., Novytskij Y., 2018

The modified concrete mixes design and cement concrete with the given operational parameters was developed. During the experiment, cement concrete was obtained from concrete mixtures of various compositions with modifying additives of a new generation containing a superplasticizer based on polycarboxylates and an air-absorbent additive. Superplasticizer was injected into a concrete mix with water in a quantity of 0,6; 0,8 and 1,0 % of the mass of cement, and the additive-aeration – in the amount of 0,1 % of the mass of cement in all the components of concrete. The influence of modifying additives on the properties of road cement concrete has been investigated. The effectiveness of their use in road surfaces is shown, which provides improved technological parameters, increased strength and durability. Air-absorbent additive-airant, in combination with a superplasticizer, allows to enhance the plasticization of the concrete mixture, as well as increase the frost resistance and waterproofness. The introduction of a modifying additive from 0,6 to 1,0 % ensures an increase in the strength of concrete in the early hardening period (2 days) from 8,7 to 11,0 MPa. After a month of hardening the strength of such concrete is 39,2 – 39,9 MPa, which

corresponds to the class of concrete B30. The use of a modifying additive during the preparation of a concrete mix allows the design of concrete with a water-cement ratio, which will reduce the open porosity of the concrete, increase its density, and thereby prevent the formation of highlands on the surface of concrete. When introducing a modifying additive, porosity is reduced by 1,4-2 times, which correlates with the results on the strength of concrete. The techno-economic efficiency of the use of road cement concrete on the basis of new generation modifying additives was determined and the construction of cement-concrete coating was found to be cheaper by 1,6 times the construction of road pavement from asphalt concrete in comparison with the cost of construction and installation work.

Key words: road cement concrete, modification additive, strength, road pavement.

Вступ. Одним із основних чинників соціально-економічного розвитку держави є автомобільні дороги, які зумовлюють інтеграцію нашої країни до європейської спільноти в результаті сприятливого географічного розміщення та формування транспортних коридорів. Перенесення акцентів на будівництво дорожніх одягів жорсткого типу пов'язано із зростанням навантаження на вісь та інтенсивності руху на дорогах України.

Цементобетонне дорожнє покриття безпосередньо сприймає навантаження від транспортних засобів та забезпечує необхідні експлуатаційні показники, такі як розрахункова швидкість руху автомобілів, розрахункове навантаження, пропускна спроможність, а також показники безпеки руху. Термін служби дорожніх покриттів з цементобетону в середньому становить 30 років. Довговічність таких покриттів значною мірою визначається тим, наскільки властивості бетону відповідають умовам роботи конструкції. Порівняно з покриттями інших типів дорожні покриття із цементобетону довговічніші; мають тривалий термін служби; незначне зношування внаслідок стирання; високу міцність на розтяг у результаті згинання; малу величину пружних деформацій під навантаженням від автомобілів; світлий колір; високий, стабільний у часі і мало залежний від зволоження, коефіцієнт зчеплення з протектором колеса автомобіля. Тому в умовах інтенсивного руху з великими швидкостями та різким гальмуванням важких автомобілів, автобусів і тролейбусів надавати перевагу дорогам з цементобетонним покриттям.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Враховуючи переваги та передовий вітчизняний і закордонний досвід [1,2], на сучасному етапі необхідним та доцільним є будівництво доріг із жорстким покриттям. Цементобетон дасть можливість ефективно вирішити проблему підвищення роботоздатності та довговічності автодоріг. Цим вимогам відповідає модифікований цементобетон.

Сучасною проблемою розроблення та впровадження модифікованих бетонів є забезпечення їх високої технологічності, що передбачає максимальне уникнення трудомістких операцій і забезпечення властивостей, які сприяють його довговічності. Технологія сучасних бетонів дає змогу змінити властивості бетонних сумішей і самих бетонів в широких межах на основі використання хімічних добавок. Виготовлення дорожнього цементобетону, який характеризується підвищеною економічністю та довговічністю за високих показників міцності, потребує використання високоякісних добавок модифікуючої дії.

В останні роки з'явилася тенденція використання комплексних добавок, які забезпечують оптимальний склад бетону відповідно до вимог. До комплексних добавок має входити ефективний суперпластифікатор, а також добавки, які керують кінетикою тужавіння і тверднення, повітровтягнення [3, 4].

Попередніми дослідженнями встановлено [5,6], що суперпластифікатори можуть мати зовсім різну ефективність дії залежно від їх витрати і хімічного складу, що дає змогу забезпечити довговічність та високу міцність бетону за умови зниження водоцементного відношення і використання ефективних модифікуючих добавок, насамперед полікарбоксилатних суперпластифікаторів, які належать до добавок нової генерації. Із застосуванням суперпластифікаторів уповільнюється розчинення клінкерних мінералів портландцементу внаслідок поверхневих реакцій, що знижують швидкість гідратації.

Аналіз літературних даних дає можливість сформулювати завдання досліджень, які полягають в одержанні цементобетонів необхідної структури та вивченні їх властивостей (фізико-механічних, експлуатаційних) з використанням комплексу сучасних модифікуючих добавок-полікарбоксилатів для дорожніх покриттів підвищеної довговічності.

Мета і завдання досліджень. Розроблення складів дорожніх цементобетонів з модифікуючими добавками нової генерації на полікарбоксилатній основі та дослідження їхніх технологічних і експлуатаційних показників.

Матеріали і методи досліджень. Для отримання модифікованих бетонів застосовували портландцемент загальнобудівельного призначення ПЦ II/A-III 400, гранітний щебінь фракції 5–20 мм та кварцовий пісок ($M_k=1,3$). Як хімічні додатки використовували суперпластифікатори нової генерації виробництва фірми “Sika” на основі полікарбоксилатів. Це композиція матеріалів, до складу яких входять сучасні полімери, що дає змогу отримати необхідний ефект з різними видами цементів і заповнювачів, а також характеризується невеликим дозуванням за значного ефекту дії.

Будівельно-технічні властивості та фізико-механічні випробування бетонів проводили згідно з чинними стандартами та загальноприйнятими методиками. Вплив модифікуючих добавок на властивості цементобетонів досліджували методом експериментально-статистичного моделювання.

Результати експериментальних досліджень. В процесі проведення експерименту цементобетони отримували із бетонних сумішей різних складів з модифікуючими добавками. Суперпластифікатор вводили в бетонну суміш з водою замішування в кількості 0,6; 0,8 і 1,0 % маси цементу, а добавку-аерант – в кількості 0,1 % маси цементу у бетони всіх складів. Повітрязахоплювальна добавка-аерант посилює пластифікацію бетонної суміші, а також підвищує морозостійкість та водонепроникність. За еталон при проведенні досліджень прийнято бетон без додавання модифікатора. Кількість портландцементу у всіх складах становила від 350 до 400 кг/м³. Приготовані бетонні суміші за осадкою конуса належать до малорухомих ($R_1=2-3$ см). У табл. 1 наведено результати досліджень впливу витрати цементу і кількості модифікуючої добавки на міцність дорожнього цементобетону та його густину.

Таблиця 1

Міцність дорожнього цементобетону з модифікуючими добавками

Кількість добавки, % маси цементу		В/Ц	ОК, см	Міцність на стиск, МПа, через, діб				$R_{бет}$, кг/м ³
Супер- пластифікатор	Аерант			2	3	7	28	
Кількість портландцементу ($\rho=350$ кг/м ³)								
-	-	0,43	3,0	6,4	9,8	12,6	21,2	2397
0,6	0,1	0,39	2,5	8,7	10,6	13,7	24,9	2388
0,8	0,1	0,36	2,5	10,8	14,7	24,9	39,2	2382
1,0	0,1	0,34	3,0	11,0	14,0	25,0	39,9	2374
Кількість портландцементу ($\rho=400$ кг/м ³)								
-	-	0,42	3,0	9,9	12,3	18,2	30,1	2380
0,6	0,1	0,38	3,0	13,5	20,8	29,1	42,2	2365
0,8	0,1	0,36	2,5	16,3	20,3	32,9	45,9	2352
1,0	0,1	0,34	3,0	16,0	21,2	31,2	45,0	2340

Встановлено (табл. 1), що за витрати портландцементу 350 кг/м³ міцність бетону без добавки з віці 2–3 доби становить 6,4–9,8 МПа, а через 28 діб вона зростає до 21,2 МПа. Введення модифікуючої добавки від 0,6 до 1,0 % забезпечує приріст міцності бетону в ранні терміни тверднення (2 доби) з 8,7 до 11,0 МПа. Через місяць тверднення міцність таких бетонів становить 39,2–39,9 МПа, що відповідає класу бетону В30.

Збільшення витрати цементу до 400 кг/м³ (табл.1) недостатньо впливає на міцність бетону без добавок у терміни тверднення 2–7 діб, і лише через 28 діб такий бетон досягає міцності

30,1 МПа. Із застосуванням добавки модифікатора підвищуються фізико-механічні показники. Так, міцність бетону в початкові терміни тверднення (2–3 доби) зростає в 1,7 разу порівняно з бездобавочним. За такої витрати цементу можна отримати марку бетону М400 (клас бетону В35) уже за 0,6 % модифікуючої добавки (табл. 1). У результаті проведених досліджень та оптимізації складів бетонів встановлено, що оптимальною кількістю для дорожніх цементобетонів є 0,8 % суперпластифікатора і 0,1 % добавки-аеранта. Підвищувати кількість модифікуючої добавки (до 1,0 %) недоцільно, оскільки спостерігається незначний вплив на міцність бетону за всі терміни тверднення.

На властивості бетонної суміші і цементобетону значною мірою впливає і водоцементне відношення. Із застосуванням модифікуючої добавки можна проектувати бетони з таким водоцементним відношенням, яке забезпечить зменшення відкритої пористості бетону, збільшить його щільність і тим самим запобігатиме утворенню висолів на поверхні бетону. Так, пористість бетону без добавок становить 0,40 %, а з оптимальною кількістю добавки знижується до 0,32 %. Із введенням модифікуючої добавки пористість знижується в 1,4–2 рази, що корелюється із результатами за міцністю бетону. У вищевказаних складах кількість води з використанням модифікуючої добавки зменшується до 20 %. При цьому густина бетонної суміші без добавок становить 2380–2397 кг/м³, а з введенням добавок знижується до 2340–2388 кг/м³, що пояснюється зменшенням кількості води замішування і кількості поротот (табл. 1).

Результати досліджень, що передбачали фізико-механічні випробування і методи експериментально-статистичного моделювання з використанням дисоціативно-крокового методу оптимізації, дали змогу запропонувати склади бетонних сумішей та цементобетону, які відповідають вимогам для використання на автомобільних дорогах за Єврокодом. Вони мають високі показники міцності за стиску (39,0–45,9 МПа) і на розтяг при згині (4,5–5,5 МПа), водонепроникності (W8), стиранні (0,3 г/см²) і морозостійкості (F300). Розрахункові склади дорожніх цементобетонів та їхні технологічні характеристики наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахункові склади дорожнього цементобетону з добавками нової генерації

Клас бетону та категорія дороги	В 30 (С25/30) III категорія	Склад цементобетону та дозування матеріалів							
		Портландцемент, кг/м ³	Пісок, кг/м ³	Щебінь, кг/м ³	Добавки, %		Вода, л/м ³	В/Ц	ОК, см
					СП	Аерант			
		350	730	1110	0,8	0,8	161	0,36	3-4
	В 40 (С30/40) II категорія	400	570	1080	0,1	0,1	152	0,38	3-4

Результати досліджень показали, що у разі використання портландцементу ПЦ II/A-III400 з добавками полікарбоксилатів у дорожніх цементобетонах, крім значного зростання рухливості бетонних сумішей досягають і підвищення ранньої міцності бетону. Модифікувальні добавки пластифікуючально-повітровтягувальної дії на полікарбоксилатній основі дають змогу вирішити технологічні завдання та забезпечити необхідні експлуатаційні властивості дорожніх цементобетонів. Крім того, розроблені і досліджувані бетонні композиції можна розглядати як основу для підсилення модифікованим цементобетоном існуючих асфальтобетонних дорожніх покриттів під час капітального ремонту чи реконструкції, які потребують все більших щорічних витрат на ремонт.

Висновок. Показано, що сучасний підхід до вибору добавок до бетонних сумішей, необхідних для дорожніх покриттів, дає змогу застосувати модифікуючі добавки нової генерації, які містять суперпластифікатор на основі полікарбоксилатів та повітрязахоплюючу добавку. Розроблено склади модифікованої бетонної суміші і створено цементобетони із заданими експлуатаційними параметрами, які забезпечують підвищені міцність та довговічність дорожнього покриття. Визначено техніко-економічну ефективність застосування дорожніх цементобетонів на основі модифікуючих добавок нової генерації та встановлено, що конструкція із цементобетонного покриття дешевша в 1,6 разу за конструкцію дорожнього одягу із асфальтобетону за вартістю будівельно-монтажних робіт. Перспективним є посилення цементобетоном існуючих асфальтобетонних доріг.

1. Гамеляк І. П., Корецький А. С., Корецький С. С. Про необхідність будівництва в Україні автомобільних доріг із цементобетонним покриттям // *Автомобільні дороги*. – 2013. – № 5. – С. 24–31. 2. Солодкий С. Й. Бетонні дорожні та аеродромні покриття: навчальний посібник / С. Й. Солодкий, С. М. Толмачов. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 132 с. 3. Батраков В. Г. Теория и перспективные направления развития работ в области модифицированных цементных систем // *Цемент*. – 1999. – № 5/6. – С. 14–19. 4. М. А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Марущак, М. М. Чемерис та ін. Модифікатори нової генерації для бетонів // *Будівельні матеріали та виробы*. – 2006. – No. 1. – С. 5–7. 5. Шевчук Г. Я., Генсецький М. П., Гнип О. П., Раєцька К. О. Модифіковані цементобетони для дорожніх та аеродромних покриттів // *Вісник ОДАБА*. – 2015. – Вип. No. 57. – С. 461–464. 6. Solodkyi S., Markiv*** T., Sobol K., Hunyak** O. Fracture properties of high-strength concrete obtained by direct modification of structure [Electronic resource] // *MATEC Web of Conferences*. – 2017. – Vol. 116.

References

1. Hameliak I. P., Koretskyi A. S., Koretskyi S. S. (2013), *On the necessity of building in Ukraine roads with cement-concrete coating*. [Pro neobkhhidnist budivnytstva v Ukraini avtomobilnykh dorih iz tsementobetonnyim pokryttiam], *Avtomobilni dorohy*, No. 5, pp.24–31 [in Ukrainian]. 2. Solodkyi S. I., Tolmachov S. M. (2017), *Concrete road and airfield coverings: tutorial*. [Betonni dorozhni ta aerodromni pokryttia: navchalnyi posibnyk], *Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky*, Lviv, 132 p. [in Ukrainian] 3. Batrakov V. H. (1999), *Theory and perspective directions of development of works in the field of modified cement systems*. [Teoryia y perspektyvnye napravleniya razvytyia rabot v oblasti modyfytsirovannykh tsementnykh system], *Tsement*, No. 5/6, pp.14–19 [in Russian]. 4. Sanytskyi M. A., Pozniak O. R., Marushchak U. D., Chemerys M. M. (2006), *Modifiers of new generation for concrete* [Modyfikatory novoi heneratsii dlia betoniv], *Budivelni materialy ta vyrobny*, No. 1, pp.5-7 [in Ukrainisan]. 5. Shevchuk H. Ia., Hensetskyi M. P., Hnyp O. P., Raietska K. O. (2015), *Modified cement concrete for road and airfield coverings* [Modyfikovani tsementobetony dlia dorozhnikh ta aerodromnykh pokryt], *Visnyk ODABA*, No. 57, pp.461–464 [in Ukrainian]. 6. Solodkyi S., Markiv T., Sobol K., Hunyak O. (2017), *Fracture properties of high-strength concrete obtained by direct modification of structure*, *MATEC Web of Conferences*, Vol. 116.