

УДК 691.5

ШЛАКОЛУЖНИЙ БЕТОН ДЛЯ ДОРОЖНІХ ОСНОВ І ПОКРИТТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДУ ФЛОТАЦІЇ ЗОЛОТОВМІСНОЇ РУДИ

ШЛАКОЩЕЛОЧНОЙ БЕТОН ДЛЯ ОСНОВ ДОРОГ И ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДА ФЛОТАЦИИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ

SLAG-ALKALINE CONCRETE FOR ROAD BASE AND COVERING WITH THE USE OF WASTE FLOTATION GOLD ORE

Гоц В.І., д.т.н., проф., Ластівка О.В., к.т.н. доц., Руденко І.І., к.т.н. доц., Волинська Є.В., аспірант (Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ)

Гоц В.И., д.т.н., проф., Ластивка О.В., к.т.н. доц. Руденко И.И., к.т.н. доц., Волинская Е.В., аспирант (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев)

Gotz V.I. Doctor of Technical science, Prof., Lastivka O.V., PhD, Associate Prof., Rudenko I.I. PhD, Associate Prof., Volynska E.V., PhD student (Kyiv National University of Construction and Architecture)

Досліджено фізико-механічні та деформативні властивостей шлаколужного бетону з використанням відходу флотації золотовмісної руди.

Исследовано физико-механические и деформативные свойства шлакощелочного бетона с использованием отхода флотации золотосодержащей руды.

Explored the physical and mechanical properties and deformation slag-alkaline concrete with the use of waste flotation gold ore.

Ключові слова:

Шлаколушний цемент, портландцемент, міцність, деформації усадки, морозостійкість, стиранність, модуль пружності.

Шлакощелочной цемент, портландцемент, прочність, деформації усадки, морозостійкість, істертаємість, модуль епругості.

Slag-alkaline cement, portlandcement, strenght, deformation, frost-resistance, abrasion, resilience.

Ефективність капіталовкладень у дорожнє будівництво визначається терміном служби дорожніх покриттів, зниженням вартості їх будівництва, і в

той самий час науково-обґрунтованим використанням сировинних матеріалів.

Світова практика показує, що в цілому ряді країн в якості основної альтернативи асфальтобетону при будівництві покриттів автомобільних доріг розглядається цементобетон [1-3]. Цементобетонні покриття і основи автомобільних доріг та аеродромів належать до довговічних типів конструкцій. При цьому довговічність таких покриттів значною мірою визначається тим, наскільки властивості бетону відповідають умовам експлуатації конструкції [4,5].

Стандарт ДБН В.2.3-4-2000 надає широкий простір для використання будівельних композитів на неорганічних в'язучих в конструктивних шарах дорожнього одягу автомобільних доріг. Проте, ДСТУ Б В.2.7-43-96 дозволяє для бетону дорожніх та аеродромних покриттів використання виключно цементів на основі клінкеру нормованого складу. Таке обмеження пов'язано з тим, що бетонне покриття працює в складних умовах багатоповторюваних силових, температурно-вологісних і корозійних впливів.

Разом з тим, довговічність бетону повинна оцінюватись з урахуванням особливостей хіміко-мінералогічного складу гідратних новоутворень, порової структури і характеру контактної зони «в'язуча речовина – заповнювач» [6]. Розглядаючи з цих позицій традиційний портландцемент, можна констатувати, що наявність в складі продуктів гідратації висококальцієвих гідратних фаз і портландиту не сприяє отриманню довговічного бетону. Натомість використання шлаколужного цементу, зважаючи на склад і властивості, відповідає сучасним тенденціям розвитку дорожнього будівництва. Перспективність використання такого цементу визначається особливостями гідратних новоутворень у вигляді низькоосновних гідросилікатів кальцію та лужних гідроалюмосилікатів, які характеризуються низькою розчинністю, що і визначає підвищену довговічність штучного каменю [7].

Доказом ефективності і високих експлуатаційних властивостей бетону на основі шлаколужного цементу є результати випробувань в конструкціях різного призначення, в тому числі у дорожньому будівництві [8, 9]. Проте, одним з недоліків бетону на такому цементі є порівняно підвищені деформації усадки, пов'язані з вмістом новоутворень лужного цементного каменю переважно в гелевидному стані. При цьому відомо, що застосування відходів флотажі (ВХ) золотомісної руди в складі шлаколужного цементу сприяє зниженню деформацій усадки цементного каменю за рахунок зміни співвідношення між кристалічними та гелевидними фазами у продуктах тверднення цементного каменю з утворенням гідратних алюмосилікатних сполук [10]. Рядом робіт [11, 12] показана ефективність використання вказаного відходу в шлаколужних в'язучих композиціях та бетонах на їх основі.

Для забезпечення ефективного застосування бетону на основі шлаколужного цементу з ВХ у конструктивних шарах дорожнього одягу метою даної роботи є дослідження фізико-механічних та деформативних

властивостей бетону, які значною мірою визначають довговічність конструкції дороги.

Матеріали та методи досліджень. При проведенні досліджень в якості аналога для порівняння використано традиційний портландцемент загальнобудівельного призначення ПЦ І-400-Н.

В якості алюмосилікатних складових шлаколужного цементу використано доменний гранульований шлак виробництва ПАТ «ММК ім. Ілліча» з модулем основності 1,1 та ВХ флотаційного збагачення золотовмісних руд родовища “Сауляк” (Закарпатська обл.). Як лужний компонент шлаколужного цементу застосовано п’ятиводний метасилікат натрію ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) та кальциновану соду технічну (Na_2CO_3), які вводили до складу цементу в дисперсному стані. Додатку лігносульфонату натрію (ЛСТ) використано для забезпечення задовільних строків тужавлення цементу.

Хімічний склад вихідних сировинних матеріалів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад сировинних матеріалів

Складові	Вміст оксидів, мас.%,								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₃	в.п. п.
ПЦ І-400-Н	24,30	5,70	5,62	-	1,20	60,90	0,30	0,86	0,12
Шлак	39,00	5,90	0,30	0,50	5,82	47,30	-	1,54	-
ВХ	60,05	17,00	7,44	-	4,28	7,47	3,74	1,10	-

В дослідженнях прийнято один склад бетону для забезпечення методичної постановки досліджень для визначення впливу складу цементу на формування фізико-механічних та деформативних властивостей бетону, що дасть підставу говорити про їх регулювання. Склад бетону прийнято наступним: цемент - 400 кг/м³, кварцовий пісок - 670 кг/м³, гранітний щебінь фракції 2 ... 5 мм - 90 кг/м³, 5 ... 10 мм - 320 кг/м³ і 10 ... 20 мм - 750 кг/м³.

При виготовленні бетонів як дрібний заповнювач використовували дніпровський кварцевий пісок з модулем крупності 1,4 (ДСТУ Б В. 2.7-32-95), як крупний заповнювач – щебінь гранітний фракцій 10...20, 5...10 та 2...5 мм (ДСТУ Б В. 2.7-75-98).

Кінетику набору міцності бетону на стиск (зразки-куби з розміром ребра 100 мм) та на розтяг при згині (призми 100 x 100 x 400 мм) визначали згідно ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Призмову міцність, модуль пружності і коефіцієнт Пуассона визначали за методикою ДСТУ Б В.2.7-217:2009. Визначення морозостійкості бетонних зразків проводили згідно ДСТУ Б В.2.7-47-96 за прискореною методикою в середовищі 5 %-ого розчину хлориду натрію і температурі мінус -50 °С. Деформації усадки визначали згідно ДСТУ Б В.2.7-216:2009. Зносостійкість оцінювали за величиною стираності, яку визначали на приладі ЛКИ-3 відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-212:2009.

В дослідженнях використано цемент, склади яких наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Склади цементу

Позначення	Співвідношення компонентів в цементі, %					Початок тужавлення, хв	Міцність на стиск, МПа, після тверднення, діб		
	шлак	ВХ	Na ₂ SiO ₃ * 5H ₂ O	Na ₂ CO ₃	ЛСТ		2	7	28
№ 1	100,0	-	3,0	4,0	0,8	60	13,4	32,6	42,0
№ 2	80,0	20,0	3,0	4,0		75	11,5	32,7	43,1
№ 3	ПЦ І-400-Н					95	16,8	30,9	41,3

Умови тверднення зразків нормальні: температура $t = 20 \pm 2$ °С, вологість $W = 95 \pm 5\%$.

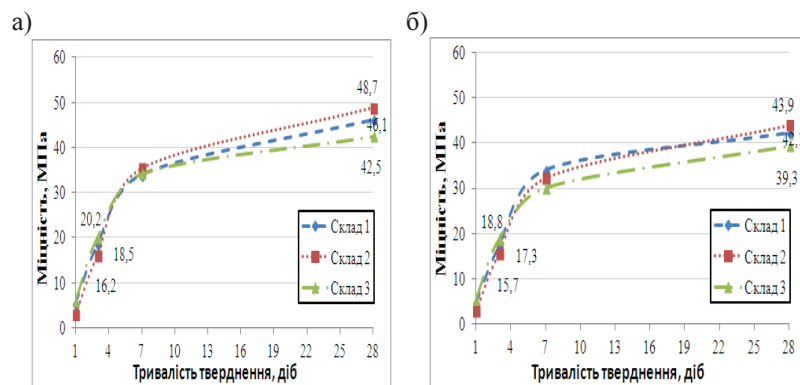


Рис. 1 – Кінетика набору міцності бетону на стиск залежно від складу цементу: а – зразки-куби; б – зразки-призми

Результати досліджень. *Міцність бетону на стиск.* Результатами показано, що при використанні шлаколужного цементу міцність бетону в ранньому віці знижується на 6 – 18 % порівняно з портландцементом (рис.1). Проте через 7 діб тверднення міцність бетону на основі шлаколужного цементу (№1, №2) перевищує міцність бетону на основі портландцементу на 7 – 25 %. Через 28 діб тверднення найвищі показники міцності бетону спостерігаються в разі використання шлаколужного цементу. При цьому використання ВХ в складі цементу сприяє підвищенню його міцності.

Міцність бетону на розтяг при згині. Бетони на основі шлаколужного цементу характеризуються вищою як ранньою, так і марочною міцністю на

розтяг при згині порівняно з бетоном на основі портландцементу. Так, на 3 добу тверднення міцність на розтяг при згині бетону з використанням цементу складу № 1 становить 2,3 МПа, а при використанні портландцементу – 1,5 МПа. Через 28 діб тверднення міцність бетону на розтяг при згині на основі шлаколужного цементу (склад № 1) становить 7,8 МПа, у разі використання цементу з ВХ (склад №2) – 7,6 МПа. Для порівняння: міцність на розтяг при згині бетону на основі портландцементу (склад №3) становить 6,1 МПа.

Звертає на себе увагу факт високих абсолютних значень міцності на розтяг при згині бетонів на основі шлаколужного цементу (рис.2), які відповідають вимогам ДБН В.2.3-4:2012 до бетонного покриття автомобільних доріг I-III категорій.

Деформації усадки бетону. Деформація усадки при висиханні є найбільш поширеною формою усадки, яка відбувається у вже затверділому матеріалі і може призвести до виникнення тріщин в бетонних конструкціях з великою відкритою поверхнею, відповідно впливаючи на довговічність. Для визначення деформаційного стану в бетоні досліджено усадку при висиханні.

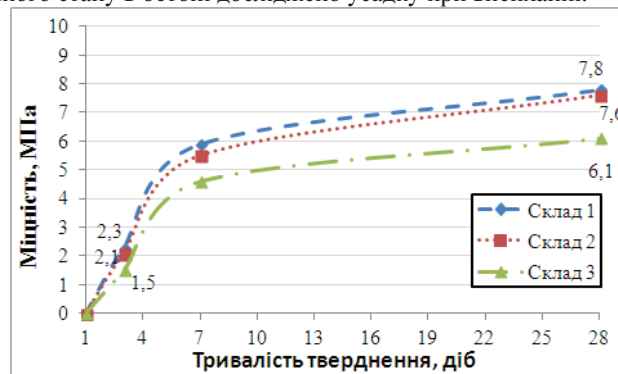


Рис. 2. Кінетика набору міцності бетону на розтяг при згині залежно від складу цементу

Виявлено, що бетон на основі шлаколужного цементу, вміщуючим ВХ, характеризується найнижчими показниками деформації усадки (рис. 3). Так, наприклад, при використанні бетону на основі шлаколужного цементу (склад № 1) деформації усадки через 224 доби тверднення складають 0,7 мм/м. При використанні портландцементу деформації усадки знижуються до 0,62 мм/м. Проте використання ВХ в складі шлаколужного цементу (склад №2) сприяє зменшенню деформацій усадки бетону до 0,6 мм/м. Отримані результати свідчать про ефективність використання ВХ в складі шлаколужного цементу для забезпечення вирішення проблеми деформації усадки бетону.

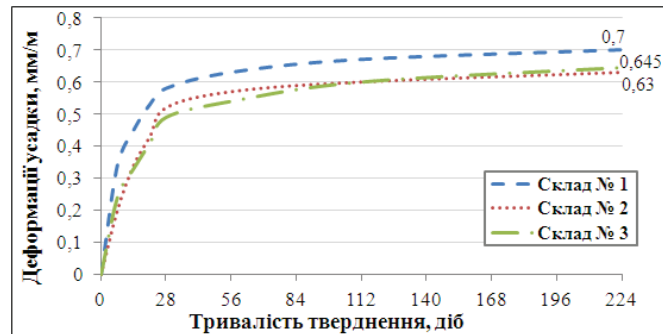


Рис. 3. Деформації усадки бетону залежно від складу цементу

Морозостійкість бетону. Аналіз результатів досліджень (табл. 3) свідчить про те, що бетони на основі шлаколужного цементу характеризуються підвищеною морозостійкістю порівняно з бетоном на основі портландцементу. Так, бетон на основі шлаколужного цементу (склад №1) характеризується маркою за морозостійкістю F 150. При залученні ВХ в цемент (склад №2) морозостійкість бетону не змінюється. Однак при використанні портландцементу (склад №3) морозостійкість бетону знижується до марки F 100.

Таблиця 3

Морозостійкість бетону

Склад цементу (за табл. 2)	Втрата середньої міцності на стиск бетону, %, після циклів заморожування і відтавання							Марка за морозостійкістю
	2	4	6	8	10	12	14	
№ 1	-	-	-0,1	-0,3	-0,6	-2,4	-4,2	F150
№ 2	-	-	-0,2	-0,5	-1,0	-2,9	-4,8	F150
№ 3	-0,5	-1,1	-2,9	-4,5	-9,3	-	-	F100

Стіранність бетону. Довговічність дорожнього бетону визначається не тільки стійкістю до дії навантажень, але і експлуатаційними показниками, одним із яких є стійкість до дії абразивного зношування. В результаті проведених досліджень показано, що стіранність бетону на основі шлаколужного цементу нижча порівняно з бетоном на основі портландцементу (табл. 4). Так ступінь зношування бетону на основі портландцементу становить 0,71 г/см². Натомість при використанні шлаколужного цементу ступінь зношування бетону становить 0,43 г/см², а при використанні ВХ – 0,41 г/см².

Дослідження показали, що бетони на основі шлаколужного цементу відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.6-2:2009 за показником стіранності та можуть бути рекомендовані для конструкцій, що працюють в умовах підвищеної інтенсивності руху. В той же час, бетони на основі

портландцементу можуть бути рекомендовані лише для конструкцій, що працюють в умовах середньої інтенсивності руху.

Таблиця 4

Результати випробування бетону на стирання

Склад цементу (за табл. 2)	Вага зразків, г		Розміри зразків, см			Площа, см ²	Стиранність, г/см ²
	до випробу- вання	після випробу- вання	l	b	h		
№1	834,40	813,30	7,04	7,00	7,10	49,28	0,43
№2	823,50	802,90	7,02	7,06	7,05	49,56	0,41
№3	828,20	793,00	7,05	7,04	7,07	49,63	0,71

Модуль пружності бетону. Результати досліджень (рис.4) свідчать про те, що модуль пружності бетонів на основі шлаколужного цементу нижчий порівняно з традиційним портландцементом, що обумовлює менші за величиною напруження, які можуть виникнути в конструкції дороги. Так при використанні в бетоні шлаколужного цементу (склад №1) модуль пружності через 28 діб тверднення становить $28,2 \cdot 10^3$ МПа, при використанні ВХ (склад №2) – $28,2 \cdot 10^3$ МПа. При використанні портландцементу (склад №3) модуль пружності бетону зростає до $41,4 \cdot 10^3$ МПа.

Таким чином, бетони на основі шлаколужного цементу, в т.ч. з використанням ВХ, характеризуються підвищенням міцності на розтяг при згині та морозостійкістю, меншим модулем пружності, а також більшою стійкістю до дії абразивного зношення порівняно з бетоном на основі портландцементу, що створює передумови для ефективного застосування бетону на основі шлаколужного цементу в конструктивних шарах дорожнього одягу.

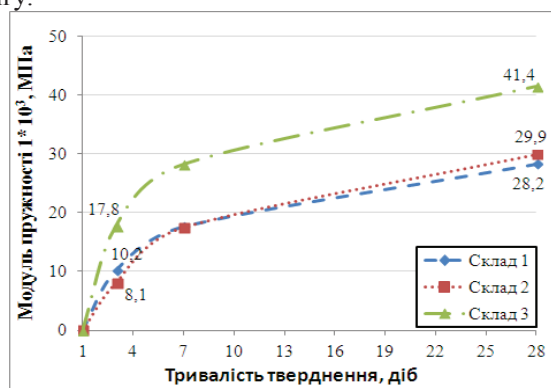


Рис. 4. Модуль пружності бетонних зразків залежно від складу цементу.

Заключення. За ключовими показниками якості дорожнього покриття виявлено, що бетони на основі шлаколужного цементу з використанням відходу ВХ мають наявні переваги в забезпеченні довговічності порівняно з бетоном на основі традиційного портландцементу – вищі показники міцності на стиск і розтяг при згині, стиранності і морозостійкості. При цьому залучення відходу ВХ до складу шлаколужного цементу дозволяє забезпечити ці властивості бетону при менших значеннях деформації усадки і модуля пружності, що дозволить підвищити тріщиностійкість матеріалу та, відповідно, збільшити строк служби таких бетонних покриттів при високій інтенсивності руху автомобілів понад 10 000 тис. транспортних одиниць.

1. Радовский, Б. С. Цементобетонные покрытия в США / Б. С. Радовский // Дорожная техника : Каталог-справочник. – Санкт-Петербург : Славутич, 2009. – С. 50–58. 2. Hela, R. New Generation Cement Concretes. Ideas, Design, Technology and Applications 2 : LLP-Erasmus: 8203-0519/IP/Kosice 03/REN/R. Hela, L.– Brno, University of Technology, Faculty of Civil Engineering, – 2009. – 174 p. 3. Толмачев, С. Н. Строительство автодорог с цементобетонным покрытием в Украине – реальность сегодняшнего дня / С. Н. Толмачев // Автошляховик України. – 2013. – № 4(234). – С. 36–40. 4. Шейнин А.М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий / А.М. Шейнин. – М. : Изд-во "Слалом", 1991. – 150 с. 5. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. Експлуатаційні впливи на бетони в цементобетонних покриттях доріг / Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2011. – Вип.18. – С. 38 – 44. 6. Кривенко П. В., Пушкрьова К.К. Довговічність шлаколужного бетону / – К: Будівельник, 1993. – 224 с. 7. Krivenko P. Alkaline cements, concretes and structures: 50 years of theory and practice / P. Krivenko // Proc. of Materials-Research, Production and Utilization, Česka rozvojova agentura, o.p.s. – Praha: Aqentura Action M, 2007. – Praha: Aqentura Action M, 2007. – P. 313-331. 8. Глуховский В. Д., Кривенко П. В., Румына Г. В., Герасимчук В. Л. Производство бетонов и конструкций на основе шлакощелочных вяжущих. К.: Будівельник. – 1988. – 144 с. 9. Корчагин Павло Олександрович. Шлаколужні бетони для дорожніх основ і покриттів, що споруджуються в умовах радіоактивного забруднення середовища. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / КНУБА, К, 2005. - 19 с. 10. Гоц В.І., Ластівка О.В., Волинська Е.В., Шимко А.О. Особливості структуроутворення шлаколужного цементу з використанням слюдовмісних побічних продуктів гірничо-добувної промисловості. Вісник ОДАБА. – Одеса, Зовнішрекламсервіс, 2016. – Вип. 62. - С. 106 – 112. 11. Гоц В.І. Ластівка О.В., Волинська Е.В. Шимко А.О. Особливості формування властивостей цементу з використанням відходів флотатії золотовмісних руд. Збірник наукових праць “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. - Рівне, 2015. - Вип. 31. - С. 157-162. 12. Гоц В.І. Ластівка О.В., Волинська Е.В., Шимко А.О., Томін О.О. Фізико-механічні властивості шлаколужного цементу та бетону на його основі з використанням відходу флотатії золотовмісної руди. Вісник ОДАБА. – Одеса, Зовнішрекламсервіс, 2016. – Вип. 63. С. 51 – 58.