

С.Й. Солодкий, Г.Я. Шевчук, Р.А. Аларджан
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра автомобільних шляхів

ВПЛИВ ДОДАТКІВ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ В'ЯЖУЧИХ І БЕТОНІВ НА ЇХНІЙ ОСНОВІ

© Солодкий С.Й., Шевчук Г.Я., Аларджан Р.А., 2005

Досліджено вплив лужного активатора і додатків системи “Релаксол” на властивості і фазовий склад композиційних в'язучих для їхнього використання в монолітному бетонуванні, зокрема на об'єктах транспортного будівництва.

The article is devoted to the researches of physiochemical and biomechanical properties of the composite cements modified by sodium sulfate and “RELAXOL” admixtures. The research has been carried out for concretes on base of composite modified cements with the aim of using in highway construction.

Постановка проблеми. Під час монолітного бетонування об'єктів транспортного будівництва, які мають лінійний характер, початок схоплення не повинен настати раніше ніж за 120 хвилин. У разі застосування композиційних в'язучих в комплексі із сульфатом натрію терміни тужавіння не відповідають вищевказаним вимогам. Тому це вимагає використання у складі бетонної суміші хімічних додатків поліфункціональної дії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність використання композиційних в'язучих, що містять мінеральні добавки різної природи активності, підтверджено роботами зарубіжних і вітчизняних дослідників. Досягнути активності таких в'язучих на рівні традиційного портландцементу можливо використанням активаторів тверднення. Висока ефективність модифікації композиційних цементів солями лужних металів підтверджена дослідженнями школи НДІВМ ім. В.Д. Глуховського [1,2], а також роботами під керівництвом проф. М.А. Саницького [3, 4].

Необхідно відзначити, що при монолітному будівництві під час перевезення бетонної суміші до місця її вкладання повинні зберігатись живучість, однорідність, реологічні властивості і не допускатись розшарування бетонної суміші. Такі вимоги можуть бути виконані при комплексному використанні лужного активатора та модифікованих пластифікаторів. Тому необхідне вивчення властивостей композиційних в'язучих та бетонних сумішей на їхній основі з комплексними хімічними додатками.

Метою цієї роботи є вивчення впливу ефективних додатків-сповільнювачів тужавіння і пластифікаторів системи “Релаксол” в комплексі з сульфатом натрію на фізико-механічні та фізико-хімічні властивості композиційних в'язучих та бетонів на їхній основі.

Методи досліджень і матеріали. У роботі застосовували портландцементний клінкер ВАТ “Миколаївцемент”, доменний гранульований шлак Криворізького металургійного комбінату, золу-виносу Бурштинської ТЕС і перліт м. Берегово Закарпатської області. Склади композиційних в'язучих наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Склади композиційних в'язучих

Вид в'язучого	Витрата компонентів, % маси цементу			
	портландцементний клінкер	доменний гранульований шлак	перліт	зола-виносу
КВЗ	65	15	-	20
КВП	50	15	35	-

Як хімічні добавки використано активатор тверднення – сульфат натрію (СН) в кількості 4,0% маси цементу, сповільнювачі тужавіння і пластифікатори бетонної суміші – добавки системи “Релаксол” в кількостях, які рекомендує завод-виробник (м. Запоріжжя). Всі добавки вводили із водою замішування. Вплив комплексних додатків на властивості композиційних в’язучих вивчався згідно з ГОСТом 310.4.

Випробування на міцність композиційних в’язучих складу 1:0 здійснено на зразках-кубиках 2x2x2 см, цементних розчинів складу 1:3 – на зразках-балочках 4x4x16 см і бетону – на кубах 10x10x10 см у віці 3, 7, 28 та 90 діб. Для виготовлення розчинів і бетонів як дрібний заповнювач використовували кварцовий пісок з $M_k=1,3$, як грубий заповнювач – гранітний щебінь фр 5 – 10 і фр 10 – 20.

Методом рентгенофазового аналізу на дифрактометрі ДРОН-2,0 при CuK_{α} випромінюванні досліджено фазовий склад затверділого цементного каменю без додатків і з додатками системи “Релаксол”.

Результати досліджень. Композиційні в’язучі готували помелом портландцементного клінкеру з доменним гранульованим шлаком і мінеральними додатками – золою-виносу (КВЗ) та перлітом (КВП). Оскільки терміни тужавіння відіграють важливу роль при монолітному будівництві, виникає необхідність вивчення впливу комплексних хімічних додатків на реологічні властивості композиційних в’язучих. Результати досліджень подано у табл. 2.

Таблиця 2

Визначення реологічних характеристик композиційних в’язучих з додатками

Вид в’язучого	Додатки, % маси в’язучого	НГЦГ	Терміни тужавіння, год-хв	
			початок	кінець
КВЗ $S_{питт} = 355 \text{ м}^2/\text{кг}$	Без додатків	0,285	2-25	4-15
	СН-4%	0,280	1-10	3-20
	«Релаксол-Супер»+СН 0,5%+4% 1,5%+4%	0,263	3-20	5-10
		0,255	3-05	5-25
	«Релаксол-Норма» + СН 1,0%+4% 2,5%+4%	0,271	1-55	4-35
		0,270	3-00	5-05
КВП $S_{питт} = 372 \text{ м}^2/\text{кг}$	Без додатків	0,280	4-30	8-05
	СН-4%	0,275	2-20	7-30
	«Релаксол-Норма» +СН 1,0%+4% 2,5%+4%	0,274	5-25	9-30
		0,272	5-38	9-40
	«Астра-Релакс» + СН 0,5%+4% 2,0%+4%	0,275	5-20	7-10
		0,270	7-30	9-15

Як видно із даних табл. 2, композиційні в’язучі без додатків мають початок тужавіння 2 год 25 хв (КВЗ) і 4 год 30 хв (КВП). Введення сульфату натрію скорочує початок тужавіння вдвічі. Додаток “Релаксол-Супер” в кількості 0,5–1,5 % маси в’язучого в комплексі із сульфатом натрію дає змогу істотно знизити водопотребу КВЗ (на 8–10 %) порівняно з цементом без додатків і відтермінувати початок тужавіння до трьох і більше годин. Додаток “Астра-Релакс”, проявляючи пластифікувальну дію, різко скорочує терміни тужавіння. Дослідження показали (табл. 2), що для композиційного в’язучого з використанням перліту при вмісті сульфату натрію до 4 % не існує проблеми термінів тужавіння. На відміну від КВЗ, додаток “Релаксол-Супер” пришвидшує початок схоплення КВП, а інші добавки подовжують терміни тужавіння.

Міцність композиційних в'язучих і цементних розчинів на їхній основі досліджували з оптимальною кількістю комплексних хімічних додатків, які за термінами тужавіння відповідають вимогам забезпечення тривалої рухомості бетонних сумішей (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив комплексних хімічних додатків на міцність композиційних в'язучих і цементних розчинів на їхній основі в нормальних умовах тверднення

Вид в'язучого	Додатки, % маси в'язучого	Цементне тісто (1:0)				Цементний розчин (1:3)				
		НГЦТ	Міцність при стиску, МПа, у віці, діб			В/Ц	РК, см	Міцність при згині/стиску, МПа, у віці, діб		
			3	7	28			3	7	28
КВЗ	Без додатків	0,285	19,3	21,2	38,3	0,48	109	1,3/4,5	2,6/6,0	3,2/11,5
	СН-4%	0,280	29,4	50,0	56,8	0,45	108	1,4/5,2	2,6/7,1	3,6/12,6
	«Супер»+СН 0,5%+4%	0,263	35,9	54,5	63,0	0,43	109	1,6/6,1	3,0/9,6	3,9/14,1
	«Супер»+СН 1,0%+4%	–	–	–	–	0,40	110	1,7/6,6	3,0/9,7	4,5/15,2
	«Норма»+СН 2,5% +4%	0,270	2,8	19,5	28,3	–	–	–	–	–
КВП	Без додатків	0,280	10,7	19,9	30,5	0,50	110	1,0/2,5	2,3/5,7	2,9/8,4
	СН-4%	0,275	12,0	25,0	40,6	0,42	110	1,2/4,6	2,7/6,7	3,3/11,9
	«Норма»+СН 1,0% +4%	0,261	14,2	18,8	33,0	0,40	110	1,7/5,8	3,4/10,1	3,9/12,9
	«Астра»+СН 0,5%+4%	0,260	14,8	26,4	43,7	0,40	109	2,1/6,4	2,6/8,7	4,1/15,0

Встановлено (табл. 3), що для КВЗ значний приріст міцності як в ранньому віці (3 і 7 діб), так і через 28 діб спостерігається при введенні додатка “Релаксол-Супер”. Міцність через 28 діб тверднення становить 63,0 МПа. При дослідженні міцності цементних розчинів на основі композиційних цементів із золою-виносу без додатків і з комплексними хімічними додатками зберігається аналогічна тенденція, як і в цементному тісті. Так, у віці 28 діб КВЗ з додатком “Релаксол-Супер” досягає міцності 14,1–15,2 МПа, що на 22–32 % вище від міцності композиційного в'язучого без додатків.

Міцність цементного тіста при використанні КВП без додатків у віці 28 діб досягає 30,5 МПа, а введення додатків системи “Релаксол” дає змогу підвищити її до 33,0–43,7 МПа. Треба відзначити, що для цього виду цементу найефективніше проявив себе додаток “Астра-Релакс”. Результати випробувань на міцність цементних розчинів на основі КВП показали (табл. 3), що використані додатки збільшують її у всі терміни тверднення. Варто відзначити, що характерним для цементних розчинів на основі модифікованих композиційних цементів є підвищена міцність при згині, що, очевидно, пояснюється зміцненням контактних зон за рахунок хімічної взаємодії новоутворень в'язучих і заповнювача.

Вивчення фізико-хімічних закономірностей формування структури цементного каменю на основі композиційних в'язучих має важливе значення для одержання бетонів із спеціальними властивостями. Використання в цементах і бетонах комплексних додатків-активаторів, до складу яких входить активатор тверднення і пластифікатори системи “Релаксол”, зумовлює необхідність дослідження їхнього впливу на гідратацію композиційних в'язучих. Згідно з даними рентгенофазового аналізу (рис. 1) основними гідратними фазами для обох видів в'язучих без додатків є еtringіт ($d/n=0,961$ нм), портландит ($d/n=0,492, 0,262$ нм), кальцит ($d/n=0,303$ нм) та гексагональні гідроалюмінати кальцію типу C_4AH_{13} ($d/n=0,756, 0,731$ нм). У разі введення хімічних додатків спостерігається зменшення інтенсивності ліній карбонату кальцію ($d/n=0,303$ нм) порівняно з цементом без додатків, що може вказувати на ущільнення структури цементного каменю на основі

досліджуваних в'язучих. Необхідно відзначити, що у всіх складах гідратованих в'язучих відсутні лінії сульфату натрію ($d/n=0,510$ нм), що свідчить про його повне зв'язування в гідратні сполуки і активізацію поверхні заповнювачів.

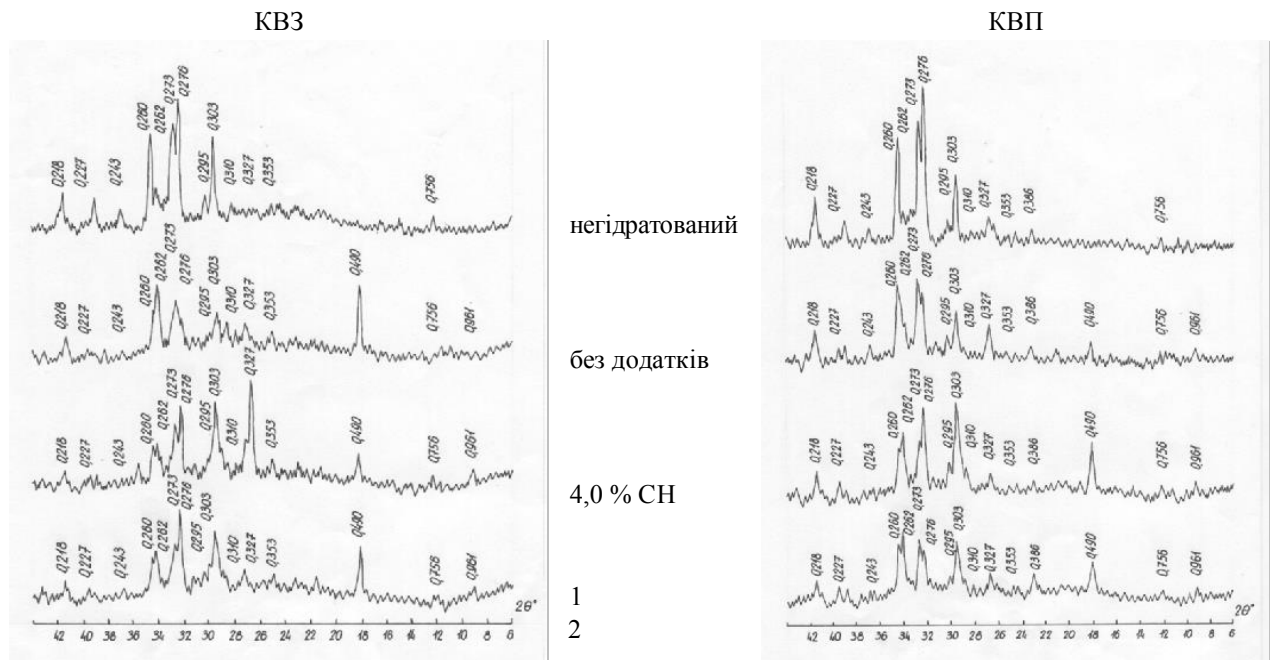


Рис. 1. Дифрактограми композиційних в'язучих, гідратованих 28 діб у нормальних умовах з додатками: 1–4,0 % СН + 0,5% “Релаксол-Супер”, 2 – 4,0 % СН + 0,5% “Астра-Релакс”

Визначення ступеня гідратації композиційних в'язучих у нормальних умовах тверднення виконували за допомогою рентгенофазового аналізу. Для цього знімали дифрактограми негідратованих цементів, які характеризуються дифракційними максимумами з $d/n=0,276, 0,273, 0,268, 0,245, 0,230, 0,218$ нм. Лінія з $d/n=0,218$, яка відповідає силікатній фазі – C_3S і $\beta - C_2S$, вибрана як аналітична. Ступінь гідратації портландцементу визначають згідно з [5]:

$$CG = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) \cdot 100\%,$$

де I та I_0 – відповідно гідратованого та негідратованого цементу.

Встановлено, що у віці 28 діб у нормальних умовах тверднення ступінь гідратації KVЗ і KVП без додатків становить 48,4 і 34,3 % відповідно. Варто відзначити, що добавки істотно пришвидшують гідратацію обох цементів, що підтверджується результатами фізико-механічних випробувань (табл. 3). Так, додаток сульфату натрію збільшує ступінь гідратації композиційного в'язучого із золою-виносу до 53,2 %, а композиційного в'язучого з перлітом – до 60,6 %. Введення комплексного модифікатора дає змогу досягти ступеня гідратації у місячному віці 68,4 % для KVЗ і 62,7 % для KVП. Результати визначення ступеня гідратації підтверджують доцільність використання додатків системи “Релаксол” в комплексі із сульфатом натрію для композиційних в'язучих. Механізм дії комплексних додатків реалізується за рахунок лужної активації композиційних в'язучих, до складу яких входять мінеральні добавки з різною природою активності.

Для вивчення впливу додатків на реологічні і фізико-механічні властивості бетонів формували бетонну суміш складу Ц:П:Щ=1:1,18:2,93 з витратою цементу 440 кг/м³. Водоцементне відношення було постійним і становило 0,5. Завдяки зниженню поверхневого натягу використані добавки системи “Релаксол” дали змогу збільшити рухомість бетонної суміші до 9–12 см. Результати випробувань бетонів на міцність наведені в табл. 4.

**Міцність бетону на композиційному в'язучому з додатками
у нормальних умовах тверднення (зразки-куби 10x10x10 см, витрата цементу – 440 кг/м³)**

Склад в'язучого	В/Ц	ОК, см	Міцність при стиску, МПа, у віці, діб		
			7	28	90
КВЗ+5 % СН+ 1 % “Супер”	0,5	11	20,5	32,7	46,0
КЦП+5%СН+ 0,75 % “Астра”	0,5	9	20,2	27,1	46,2
Портландцемент ПЦ М500	0,5	7	-	41,5	47,2

Результати випробувань показали (табл. 4), що композиційні в'язучі з додатками системи “Релаксол” дають змогу досягнути значної рухливості бетонної суміші і тривалої живучості. Міцність бетону при стисканні на основі КВЗ у віці 7 діб становить 20,5 МПа, а через 90 діб тверднення досягає 46 МПа. При використанні КВП з комплексним додатком спостерігається дещо менша рухливість бетонної суміші, а міцність через 7 і 90 діб дорівнює 20,2 та 46,2 МПа відповідно. Показано, що вид комплексного модифікатора неістотно вплинув на міцність бетону у віці 7 і 90 діб лише на 28 добу спостерігається більша міцність (32,7 МПа) бетону на композиційному в'язучому із золою порівняно із КВП (27,1 МПа). Для порівняння фізико-механічних властивостей випробовували бетон на рядовому портландцементі, який у місячному віці мав міцність 41,5 МПа. Із збільшенням терміну тверднення (90 діб) міцність бетонів на рядовому портландцементі (47,9 МПа) і на композиційних в'язучих практично вирівнюється (46,0–46,2 МПа).

Висновок. Дослідження дали змогу встановити ефективність сумісного використання активатора тверднення – сульфату натрію і додатків системи “Релаксол” як сповільнювачів тужавіння і пластифікаторів у складі композиційних в'язучих. Вибрані додатки підвищують міцність в'язучих і цементних розчинів на їхній основі. Для забезпечення реологічних властивостей і живучості бетонних сумішей на основі композиційних в'язучих для монолітного бетонування, зокрема об'єктів транспортного будівництва, можна рекомендувати використання комплексних модифікаторів “Релаксол-Супер” для в'язучого із золою-виносу і “Астра-Релакс” для в'язучого із перлітом.

1. Krivenko P. V. *Alkaline cements and concretes: problems of durability* // Proc. Second Int. Conf. “Alkaline cements and concretes”. – К., 1999. – P. 3–43. 2. Runova R.F., Kochevykh M.A., Rudenko I.I., Nosovskii Y.L. *An alkaline modification of the composite cements* // Proc. Second Int. Conf. “Alkaline cements and concretes”. – К., 1999. – P. 357–365. 3. *Alkali-activated Portland cement binders and concrete with fly-ash additives* / M. Sanitsky, G. Shevchuk, P. Chaba, T. Markiv// IBAUSIL, 13. *Internationale Baustofftagung*. – Band 2. – Weimar (Germany), 1977. – P.0071–0079. 4. *Цементи, модифіковані комплексними хімічними та мінеральними додатками* /М.А. Саницький, У.Д. Марущак, О.Р. Позняк, О.Т. Мазурак // Міжн. науково-практ. конф. “Химические и минеральные добавки в цемент и бетон.” Запоріжжя, 2002. – С. 21–24. 5. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. *Методы физико-химического анализа вяжущих веществ*. – М., 1981.