

С.Г. Гузій, В.І. Пушкарь, Г.В. Вознюк, І.І. Руденко  
Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського  
Київського національного університету будівництва і архітектури

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЇ КОМПЛЕКСНОЇ ДОБАВКИ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ І БЕТОНІВ НА ОСНОВІ ЛУЖНОГО ЦЕМЕНТУ

© Гузій С.Г., Пушкарь В.І., Вознюк Г.В., Руденко І.І., 2008

Перевірено ефективність дії комплексної добавки при мінімальній витраті лужного цементу –  $350 \text{ кг/м}^3$  за критеріями легкоукладальності, ранньої та марочної міцності згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-69 та ДСТУ Б В.2.7-65. Отримані дані дають змогу: розробити методи управління реологією бетонних сумішей та керувати ранньою і марочною міцністю бетону; можуть бути використані для впровадження у виробництво товарних бетонів для монолітно-каркасного будівництва.

Check of efficiency of action of the complex additive is carried out at the minimal charge of alkaline cement ( $350 \text{ kg/m}^3$ ) by criteria workability, early and branded durability according to requirements DSTU B V. 2.7 – 69 and DSTU B V. 2.7 – 65. The received data allow developing methods of management flow property of concrete mixes on the basis of alkaline cement and to operate both early, and final durability of concrete and can be used for introduction in manufacture of commodity concrete for monolithic-frame construction.

**Постановка проблеми.** Всезростаючий розвиток у світовій практиці монолітного та каркасно-монолітного будівництва вимагає використання високорухливих та литих бетонних сумішей як на основі традиційного портландцементу, так і на основі лужного цементу з подовженим часом транспортування, які можливо вкладати бетононасосом, що значно підвищує продуктивність праці, скорочує терміни та покращує якість будівництва. Також важливого значення набуває проблема збереження консистенції бетонної суміші в часі, підвищення ефективності способів її вкладання при збереженні високих показників ранньої та марочної міцності, щільності та довговічності затверділого бетону, що забезпечується якістю цементу та введенням хімічних добавок-пластифікаторів [1]. За останнє десятиріччя зросла ефективність індивідуальних і комплексних хімічних додатків, насамперед для портландцементних систем, за рахунок розроблення нових гіперпластифікаторів [2–9] – розріджувачів, що дають змогу знизити водопотребу більше ніж на 25–30 %, і так мало розроблено ефективних добавок для лужних цементів [10].

Результати досліджень в області хімії та технології в'язучих речовин свідчать, що створення модифікованих лужних цементів з добавками нової генерації, які характеризуються підвищеною рухливістю в часі, заданою ранньою та марочною міцністю, покращеними будівельно-технологічними властивостями, може досягатися шляхом їх модифікування високоефективними комплексними добавками, що містять поверхнево-активні речовини (ПАР) та солі лужних металів.

Тому актуальним з теоретичного та практичного поглядів є дослідження, спрямовані на вивчення впливу комплексних хімічних поліфункціональних добавок “нового” типу на основі суперпластифікаторів та прискорювачів тверднення у вигляді високорозчинних електролітів – натрію тіосульфату та родоніту на процеси гідратації і тверднення лужних цементів, цементно-піщаних та бетонних сумішей, що характеризуються сильно пролонгованою рухливістю, заданою ранньою та марочною міцністями та високими експлуатаційними характеристиками.

З погляду фізико-хімічних уявлень [1, 12, 17] про механізм дії чорного сульфатного шілоку (ЧСШ) [11], який складається з суміші складається з лігніну – 42 %, аліфатичних кислот – 27,4 %, органічних з'єднань – 5,2 %, NaOH – 3,6 %,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 2,5 %,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  – 4,7 %,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 0,25 %,

пов'язаної NaOH – 11,2 %, пов'язаної S – 0,6 %, у лужних розчинах – рідинному склі з силікатним модулем  $M_c=1,0$  і 1,5 та карбонату натрію. Зазначено, що у цьому додатку синергетично поєднуються механізми дії, характерні для відомих суперпластифікаторів. Показано, що органічні складові ЧСЦ виступають в ролі розріджувачів і, адсорбуючись на поверхні шлаку та гідратних новоутворень, створюють стеричний ефект відштовхування та гідрофільності, що призводить до виникнення ефекту гідродинамічного змащування, внаслідок чого збільшуються строки тужавіння та підвищується пластичність шлаколузного тіста.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [13–17] встановлені основні закономірності впливу добавок на реологічні (розлив конусу 138–152 мм) та фізико-механічні (строки тужавіння 40–56 хв, міцність при стиску в межах від 40 до 52 МПа) властивості піщано-розчинових сумішей на основі лужного цементу, але зовсім відсутня інформація щодо їх впливу на будівельно-технологічні та фізико-механічні властивості бетонних сумішей та бетонів.

**Метою роботи** є перевірка ефективності дії комплексної добавки на основі ЧСЦ та родоніту натрію за критеріями легкоукладальності, ранньої та марочної міцності згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-69 та ДСТУ Б В.2.7-65 бетонних сумішей і бетонів на основі лужного цементу.

**Методи досліджень і матеріали.** Дослідження впливу добавок – розчину ЧСЦ (густина –  $1055 \text{ кг/м}^3$ , концентрація сухих речовин – 13,3 %) і родоніту натрію на реологічні та фізико-механічні властивості бетонних сумішей і бетонів, які отримані на основі лужного цементу, проводили за допомогою рототабельного плану другого порядку. Як вихідні параметри (для побудови емпіричних поверхонь відгуку) використовували отримані експериментальні дані за легкоукладальністю (осадка конусу) та міцностями при стиску після ТВО (по режиму 3+6+3 год,  $t=90 \text{ }^\circ\text{C}$ ) та 3, 7 і 28 діб тверднення. Як алюмосилікатний компонент цементу використовували доменний мелений ( $S_{\text{птт.450}} \text{ м}^2/\text{кг}$ ) шлак Маріупольського заводу ім. Ільїча; лужний компонент – розчин  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  густиною  $1180 \text{ кг/м}^3$ . При отриманні бетонних сумішей їх Р/Ш було постійним (0,53), при цьому осадка конусу бетонної суміші без добавок складала 3,8 см (рухливість – П-1). Зміною величин густин розчину соди від 1160 до  $1200 \text{ кг/м}^3$  підтримували на постійному рівні кількість солі (199,1 г/л) у розчині лужного компоненту залежно від кількості введення розчину добавки ЧСЦ, при цьому рухливість бетонної суміші коливалась у межах від П-2 до П-5. Перевірку ефективності дії комплексної добавки на основі ЧСЦ та родоніту натрію за критеріями легкоукладальності, ранньої та марочної міцності проводили згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-69 та ДСТУ Б В.2.7-65 при наступному складі бетонної суміші (витрата складових на  $1 \text{ м}^3$ ): лужний цемент – 350 кг; щебінь фракції 5–10 мм – 330 кг, фракції 10-20 мм – 780 кг; пісок – 740 кг.

**Результати досліджень.** Інтервали варіювання та значення параметрів, що змінюються наведено в табл. 1. Матрицю планування експерименту та її реалізацію наведено в табл. 2. У результаті проведеного математичного експерименту отримані адекватні квадратичні рівняння регресії (1-5), які описують математичні моделі  $V_1$ - $V_5$  за впливом введення кількості ЧСЦ і родоніту натрію (% від маси шлаку) на властивості бетонних сумішей та бетонів, які отримані на основі лужного цементу.

Таблиця 1

**Інтервали варіювання та значення параметрів, що змінюються**

Характеристика	Фактори	
	кількість ЧСЦ від маси шлаку за сухою речовиною $\text{Щ}, \%, X_1$	кількість родоніту натрію від маси шлаку за сухою речовиною, $\% X_2$
основний рівень "0"	1,25	0,50
нижній рівень "-1"	0,00	0,00
верхній рівень "+1"	2,50	1,00

**Матриця планування експерименту та результати реологічних і фізико-механічних випробувань бетонних сумішей та бетонів на лужному цементі**

Точки плану	Матриця планування		Вихідні показники				Осадка конусу, см
	кількість ЧСЦ від маси шлаку, %	кількість родоніту натрію від маси шлаку, %	міцність при стиску, МПа, у віці, діб				
			3	7	28	ТВО	
1	0,00	0,00	20,5	25,5	32,7	28,5	3,8
2	0,00	1,00	20,5	25,8	33,1	29,4	9,0
3	2,50	0,00	18,7	26,5	36,9	31,9	16,7
4	2,50	1,00	16,5	24,0	34,1	30,5	18,8
5	-0,52	0,50	23,2	23,9	32,2	28,1	6,1
6	3,02	0,50	15,9	24,3	35,4	32,6	13,5
7	1,25	-0,21	18,3	23,7	34,7	30,9	13,1
8	1,25	1,21	15,2	22,4	36,1	32,7	14,6
9	1,25	0,50	20,3	28,9	35,9	31,3	21,0
10	1,25	0,50	21,2	29,5	37,8	31,6	22,4

Осадка конусу бетонної суміші, см,  $V_1$ :

$$V_1 = 5,85 + 13,36x - 3,77x^2 + 19,36y - 15,45y^2 - 1,24xy; \quad (1)$$

Міцність бетону при стиску, МПа, після ТВО  $V_2$ :

$$V_2 = 28,39 + 2,83x - 0,51x^2 + 1,96y - 0,3y^2 - 0,92xy; \quad (2)$$

Міцність бетону при стиску, МПа, на 3 добу тверднення  $V_3$ :

$$V_3 = 20,89 - 0,57x - 0,24x^2 + 6,55y - 7,18y^2 - 0,88xy; \quad (3)$$

Міцність бетону при стиску, МПа, на 7 добу тверднення  $V_4$ :

$$V_4 = 24,35 + 3,87x - 1,33x^2 + 10,82y - 10,43y^2 - 1,12xy; \quad (4)$$

Міцність бетону при стиску, МПа, на 28 добу тверднення  $V_5$ :

$$V_5 = 32,44 + 4,21x - 1,04x^2 + 4,79y - 3,3y^2 - 1,28xy. \quad (5)$$

Результати математичної обробки результатів експерименту по визначенню впливу кількості введення розчину ЧСЦ і родоніту натрію на властивості бетонної суміші та бетонів на основі лужного цементу наведено на рис. 1–5.

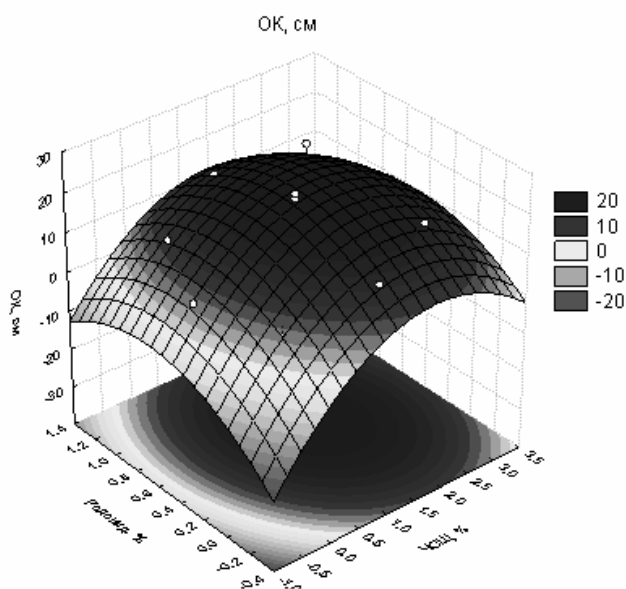


Рис. 1. Емпірична поверхня впливу добавок на реологічні властивості бетонної суміші на основі лужного цементу (осадка конусу, см)

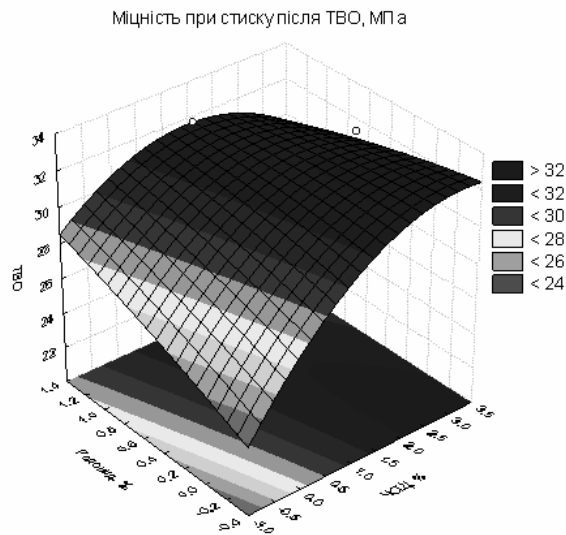


Рис. 2. Емпірична поверхня впливу добавок на міцність при стиску(МПа) бетону на основі лужного цементу (після ТВО за режимом 3+6+3 год,  $t=90^{\circ}\text{C}$ )

Як видно з даних рис. 1, найбільшим значенням осадки конуса – 22 см (рухливість суміші П-5) характеризуються склади сумішей, в яких було введено розчину ЧСЦ в кількості 1,5 % і родоніту натрію в кількості 0,8 %.

Максимальна міцність бетонних зразків після ТВО – 33 МПа характерна за наявності в складі розчину лужного компонента ЧСЦ в кількості 3 %, і родоніту натрію – 0,5 % (рис. 2).

На третю добу тверднення (рис. 3) максимальну міцність при стиску – 23 МПа мають зразки бетону, в складі яких знаходиться тільки родоніт натрію в кількості 0,5 %.

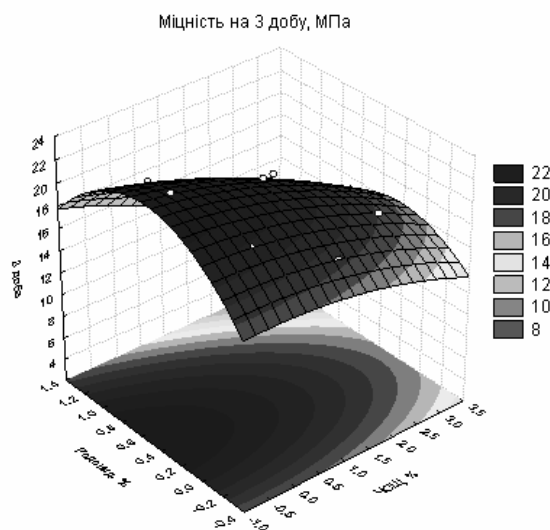


Рис. 3. Емпірична поверхня впливу добавок на міцність при стиску(МПа) бетону на основі лужного цементу (3 доба тверднення)

На сьому добу тверднення (рис. 4) максимальну міцність при стиску – 30 МПа мають зразки бетону, в складі яких знаходиться 1,25 % ЧСЦ та 0,5 % родоніту натрію, а на 28 добу тверднення – 38 МПа (рис. 5) мають зразки, що містять у своєму складі ЧСЦ в кількості 1,5 % і родоніту натрію в кількості 0,5 %.

Використані добавки синергетично доповнюють дію одна однієї, покращуючи показники за рухливістю бетонної суміші – у 5,9 раза більше та кінцевої міцності – у 1,2 раза більше порівняно з цими самими показниками бездобавочних бетонів (рис. 1 і 5), що добре корегується з даними, відображеними в роботах [4, 5].

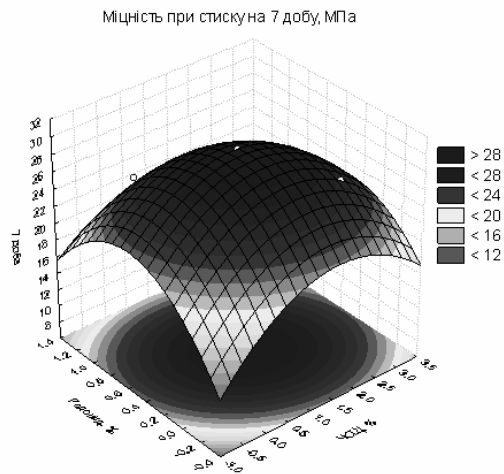


Рис. 4. Емпірична поверхня впливу добавок на міцність при стиску(МПа) бетону на основі лужного цементу(7 доба тверднення)

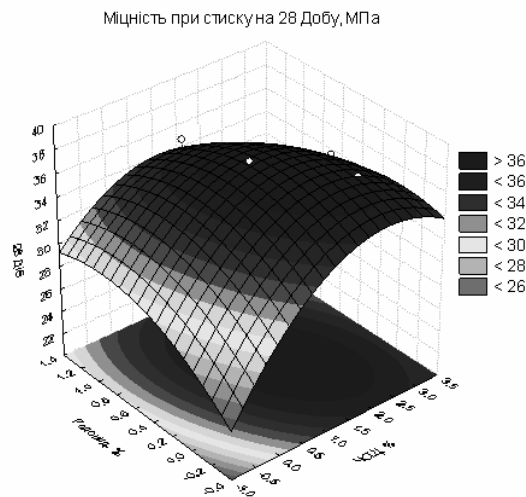


Рис. 5. Емпірична поверхня впливу добавок на міцність при стиску(МПа) бетону на основі лужного цементу(28 доба тверднення)

Що стосується значень ранньої міцності (3 доба тверднення), то у цьому випадку синергизму від дії добавок не спостерігається (рис. 3) – на збільшення міцності при стиску в 1,2 раза в порівнянні з бездобавочним складом бетону найвагоміший вплив має родоніт натрію.

**Висновки.** 1. Здійснено перевірку ефективності дії комплексної добавки на основі ЧСЩ та родоніту натрію за мінімальної витрати лужного цементу – 350 кг/м<sup>3</sup> за критеріями легкоукладальності, ранньої та марочної міцності згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-69 та ДСТУ Б В.2.7-65 2. Показано, що сумісне введення ЧСЩ і родоніту натрію у кількості 1,5 і 0,5% від маси лужного цементу у розчин соди призводить до підвищення показника легкоукладальності бетонної суміші від П-1 до П-5 та сприяє збільшенню марочної міцності бетону в 1,2 раза (при П-5) порівняно з бездобавочним складом бетону. 3. Визначено, що введення родоніту натрію в кількості 0,5 % від маси лужного цементу у розчин соди сприяє підвищенню ранньої міцності в 1,2 раза порівняно з бездобавочним складом бетону (при рухливості бетонної суміші П-5). 4. Отримані дані дають змогу розробити методи управління реологічними процесами бетонних сумішей на основі лужного цементу та керувати як ранньою, так і кінцевою міцністю бетону і можуть бути використані для впровадження їх у виробництво товарних бетонів для монолітно-каркасного будування.

1. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: Учеб.-справоч. пособие. – Ростов н/Д.: Феникс. 2005. – 221 с. 2. Хімічні і мінеральні добавки в бетон / За заг. ред. О. Ушерова. –

Маршака. – Харків: Колорит, 2005. – 280 с. 3. Колбасов В.М., Калитина М.А., Ревтон Т.В. Полифункциональные многокомпонентные добавки как средство оптимизации структуры цементного камня // *Техника и технология силикатов*. – 1994. – № 1. – С. 16–18. 4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1990. – 396 с. 5. Никифоров А.П. Тяжелые бетоны на шлакосодержащих вяжущих с комплексными модификаторами: Монография. – Донецк: Пороги, 1996. – 232 с. 6. Цементи, модифіковані комплексними хімічними та мінеральними додатками / М.А. Саницький, У.Д. Марущак, О.Р. Позняк, О.Т. Мазурак // *Міжнар. наук.-практ. конф. “Химические и минеральные добавки в цемент и бетон”*. – Запоріжжя: Будіндустрія ЛТД, 2002. – С. 21–24. 7. Чемерис М.М. Бетони з комплексними модифікаторами пластифікуючи-прискорюючої дії: Автореф. Дис. ...канд. техн. наук. – Львів: Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2006. – 19 с. 8. Мазурак О.Т. Портландцементи з комплексними модифікаторами на основі полікарбоксилатів: Автореф. Дис. ...канд. техн. наук. – Львів: Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2006. – 20 с. 9. Соболев Х.С. Модифіковані композиційні цементи з додатками полі функціональної дії: Автореф. Дис. ...д-ра техн. наук. – Львів: Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2006. – 31 с. 10. Гузій С.Г., Пушкар В.І. Основи пластифікації шлаколузжого цементу: проблеми та шляхи їх вирішення // *Современные бетоны / Общ. ред. А. Ушерова-Маршака, Т. Бабаевская: Сб. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф., 30 мая–1 июня*. – Запорожье: ООО “Будіндустрія” ЛТД, 2007,– С. 196–199. 11. *Технология целлюлозно-бумажного производства: В 3 т. Т. I: Сырье и производство полуфабрикатов, ч. 2: Производство полуфабрикатов*. – СПб.: Политехника, 2003. – 633 с. 12. Guziy S.G., Pushkar V.I., Vŕuk E.E., Revenkov A.M. Influence black sulphatic lye on rheology and structurization of alkaline cements // *Современные бетоны / Общ. ред. А. Ушерова-маршака, Т. Бабаевская: Сб. докл. и тез. IX Междунар. науч.-практ. конф., 30 мая – 1 июня, Запорожье: ООО “Будіндустрія” ЛТД, 2007. – С. 217–223*. 13. Krivenko P.V., Guziy S.G., Voznyuk G.V., Pushkar V.I. Influence of the complex additive of kind “Lignine – sodium thiosulfate – aliphatic acid” on plasticization of alkaline cements // *Non-Traditional cement&Concrete III. Proc. of the Intern. Symp. Brno University of Technology, Brno June 10–12, 2008. – P. 381–388*. 14. Кривенко П.В., Гузій С.Г., Титаренко Т.Г., Вознюк Г.В. Перспективність застосування високо рухливого вогнестійкого шлаколузжого бетону в сучасному монолітному будівництві // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: УДУВГП, 2005. – Вип. 12. – С. 15–21*. 15. Кривенко П.В., Гузій С.Г., Вознюк Г.В., Пушкар В.І. Дослідження впливу комплексної добавки на будівельно-технологічні властивості шлаколузжних цементів // *Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка: Наук.-техн. зб. – 2006. – Вип. 21. – С. 51–55*. 16. Кривенко П.В., Гузій С.Г., Вознюк Г.В., Пушкар В.І. Оптимізація складу комплексної пластифікуючої добавки типу “ЛСТ-С-3-Тіосульфат натрію” для шлаколузжних цементів // *Сучасні будівельні матеріали, композиційні матеріали для будівництва: Вісник ДДАБА. – Макіївка: ДДАБА, 2007. – № 1 (63). – С. 164–169*. 17. Гузій С.Г., Старостіна О.В. Термокінетичні особливості процесів тверднення пластифікованих лужних цементів // *Дни современного бетона: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф. / Науч. ред. А. Ушерова-Маршака. – Запорожье: Планента, 2008. – С. 209–216*.