

УДК 691.075.3/691.54+691.327.3

**ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОМІЦНИХ КЕРАМЗИТОБЕТОНІВ В  
КАРКАСНО-МОНОЛІТНОМУ БУДІВНИЦТВІ**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА В  
КАРКАСНО-МОНОЛИТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**USING OF LIGHTWEIGHT HIGH-STRENGTH CONCRETE IN FRAME-  
MONOLITHIC CONSTRUCTION**

**Пушкарьова К.К., д.т.н., проф., Каверин К.О., асп.,** (Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ)

**Пушкарева Е.К., д.т.н., проф., Каверин К.А., асп.,** (Киевский национальный университет строительства и архитектуры, м. Киев)

**Pushkarova K.K., doctor of technical sciences, professor, Kaverin K.A., postgraduate student,** (Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture, Kyiv)

**В статті наведені результати дослідження щодо підвищення міцності керамзитобетону за рахунок використання комплексної органо-кремнеземистої добавки.**

**В статье приведены результаты исследования увеличения прочности керамзитобетона за счет использования комплексной органо-кремнеземистой добавки.**

**The article presents the results of changes strength for concrete based on expanded clay aggregates through the effective use of complex organic-silica additives.**

**Ключові слова:**

Комплексна органо-кремнеземиста добавка, міцність при стиску, високоміцний легкий керамзитобетон.

Комплексная органо-кремнеземистая добавка, прочность при сжатии, высокопрочный легкий керамзитобетон.

Complex of organic-silica additives, compressive strength, lightweight high-strength concrete.

**Вступ:** Проблема зниження маси будівель для високоповерхового будівництва, продовжує залишатися актуальною, особливо в сучасних умовах. Широкого розповсюдження в сучасному будівництві набули

монолітні безбалочні залізобетонні перекриття, які через підвищену масу не дозволяють в повній мірі реалізувати всі переваги монолітного каркаса. Практичним способом вирішення цієї проблеми є розробка і використання високоміцних легких бетонів, особливо керамзитобетонів[1-4].

**Стан питання та задачі досліджень.** Проблема застосування легких бетонів є дуже актуальною, оскільки дозволяє реалізувати багато завдань будівельної галузі і одночасно вирішувати екологічні та ресурсозберігаючі проблеми.

Основна мета полягає в оптимізації складів високоміцних легких бетонних сумішей на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою та отримання на їх основі високоміцних легких бетонів, що відрізняються високими фізико-механічними показниками.

**Сировинні матеріали та методи досліджень.** Як вихідні сировинні матеріали в дослідженнях використовували портландцемент ПЦ І-500Р, керамзитовий гравій фракції 5...10 мм ТОВ «Хмельницький завод керамзитового гравію» середньою густиною  $630 \text{ кг/м}^3$  і міцністю при стиску в циліндрі 4,26 МПа, що відповідає марці П150, пісок Дніпровський кварцовий з модулем крупності ( $M_k=1,39$ ), полікарбоксилатний суперпластифікатор торгової марки SikaPlast 555W, отриманий на основі поліетиленгліколю з молекулярною масою 1000, що в своєму складі має поліакриламід, та кремнеземисту добавку на основі меленого трепелу Коноплянського родовища ( $S_{\text{пт}}=21300 \text{ см}^2/\text{г}$ ).

Дослідження проводили з використанням комплексу фізико-механічних методів досліджень згідно діючих нормативних документів. Суперпластифікатор вводили у кількості 1,5% від маси цементу відповідно. Кремнеземисту добавку (тонкомелений трепел) вводили в кількості 10% від маси в'язучої речовини. Випробування зразків кубів розмірами  $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$  для визначення міцностних властивостей легких бетонів проводили за стандартною методикою і в стандартних умовах у віці 3,7 та 28 діб відповідно до діючих норм ДСТУ.

#### **Результати досліджень.**

Попередніми дослідженнями було підібрано оптимальний склад комплексної органо-кремнеземистої добавки, що включає мелений трепел в кількості 10% та суперпластифікатор «SikaPlast 555W» в кількості 1,5% від маси в'язучої речовини відповідно[5-6]. Оптимізація складу керамзитобетону проводилась із застосуванням двофакторного тривірневого методу планування експерименту [7], в якому як змінні фактори вибрані вміст цементу (0,23...0,43 т) ( $X_2$ ) та величина водоцементного відношення (0,35...0,45) ( $X_1$ ) (табл. 1). Як функцію відгуку було прийнято міцність при стиску зразків керамзитобетону у віці 3, 7 та 28 діб.

Контрольний склад керамзитобетону включав 380 кг портландцементу ПЦ І-500Р; 410 кг керамзитового гравію фракції 5...10 мм ТОВ

«Хмельницький завод керамзитового гравію» з середньою густиною 630 кг/м<sup>3</sup> та 910 кг Дніпровського кварцового піску (M<sub>к</sub>=1,39).

Розроблений склад високоміцних керамзитобетонів, модифікований комплексною органо-кремнеземистою добавкою, включав 300 кг портландцементу ПЦ І-500Р, 410 кг керамзитового гравію фракції 5...10 мм ТОВ «Хмельницький завод керамзитового гравію» з середньою густиною 630 кг/м<sup>3</sup> та 980 кг Дніпровського кварцового піску (M<sub>к</sub>=1,39).

Таблиця 1

Інтервали варіювання і значення змінних факторів при оптимізації складів керамзитобетону

Фактори, вид		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
натуральний	кодований	верхній	середній	нижній	
В/Ц	X <sub>1</sub>	0,45	0,4	0,35	0,05
витрата цементу, т	X <sub>2</sub>	0,43	0,33	0,23	0,1

За результатами експериментальних досліджень отримані квадратичні рівняння регресії міцності при стиску зразків у віці 3, 7 та 28 діб для контрольного складу керамзитобетону, які з врахуванням коефіцієнтів регресії мають наступний вигляд:

$$f_{ck}^{контр}(3) = 22,756 - 1,667 \cdot x_1 + 4,1 \cdot x_2 + 0,367 \cdot x_1^2 - 4,633 \cdot x_2^2 - 1,05 \cdot x_1 \cdot x_2; \quad (1)$$

$$f_{ck}^{контр}(7) = 24,944 - 1,717 \cdot x_1 + 3,033 \cdot x_2 - 0,017 \cdot x_1^2 - 3,967 \cdot x_2^2 - 0,225 \cdot x_1 \cdot x_2; \quad (2)$$

$$f_{ck}^{контр}(28) = 33,178 - 2,85 \cdot x_1 + 6,267 \cdot x_2 + 0,683 \cdot x_1^2 - 2,767 \cdot x_2^2 - 0,85 \cdot x_1 \cdot x_2; \quad (3)$$

Розглядаючи діаграми зміни міцності при стиску контрольних зразків керамзитобетону (рис.1) можна відзначити, що на ранніх етапах твердіння міцність залежить від величини водоцементного відношення, а на пізніх етапах твердіння на міцність більше впливає витрата цементу.

Для зразків керамзитобетону, що модифіковані комплексною органо-кремнеземистою добавкою на основі полікарбонатного суперпластифікатора SikaPlast 555W в кількості 1,5% та меленого трепелу в кількості 10% від маси в'язучої речовини, квадратичні рівняння регресії міцності при стиску у віці 3, 7 та 28 діб мають наступний вигляд:

$$f_{ck}(3) = 30,067 - 3,117 \cdot x_1 + 7,35 \cdot x_2 - 1,15 \cdot x_1^2 + 1,05 \cdot x_2^2 - 2,05 \cdot x_1 \cdot x_2; \quad (5)$$

$$f_{ck}(7) = 37,744 - 1,717 \cdot x_1 + 5,35 \cdot x_2 - 0,317 \cdot x_1^2 - 2,717 \cdot x_2^2 + 0,175 \cdot x_1 \cdot x_2; \quad (6)$$

$$f_{ck}(28) = 42,289 - 2,083 \cdot x_1 + 6,683 \cdot x_2 - 0,683 \cdot x_1^2 - 3,583 \cdot x_2^2 + 0,025 \cdot x_1 \cdot x_2; \quad (7)$$

Аналіз діаграм зміни міцності при стиску зразків на основі керамзитобетонів, модифікованих комплексною органо-кремнеземистою добавкою (рис.2), показує, що розширюється зона міцності керамзитобетону від 40 до 45 МПа, порівняно з зоною контрольних зразків (рис.2.).

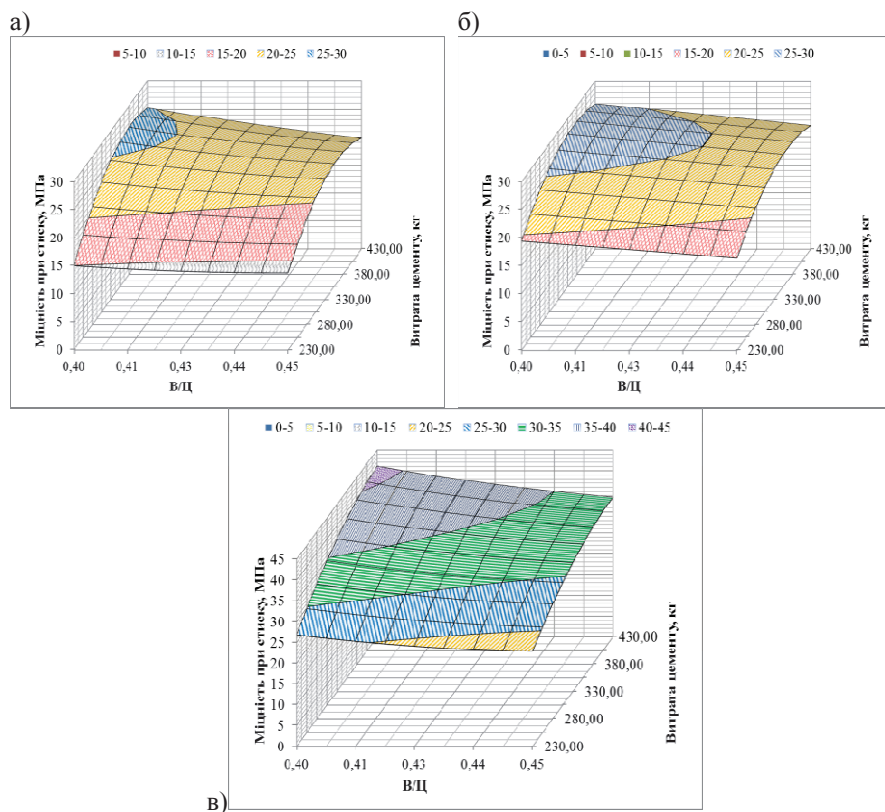


Рис. 1. Діаграми зміни міцності при стиску контрольних зразків керамзитобетону після твердіння: 3 (а), 7 (б), 28 (в) діб

Також можна відмітити збереження певних тенденцій, тобто на ранніх етапах твердіння міцність залежить від величини водоцементного відношення, а на пізніх етапах твердіння на міцність більше впливає витрата цементу.

З точки зору оптимальної кінетики набору міцності (3,7 та 28 діб) є склад керамзитобетону з середньою густиною  $1820 \text{ кг/м}^3$ , що містить 300 кг портландцементу (при  $\text{В/Ц}=0,45$ ), модифікований комплексною органо-кремнеземистою добавкою на основі полікарбоксилатного суперпластифікатора «SikaPlast 555W» в кількості 1,5% та трепелу Конопляньського родовища в кількості 10% від маси цементу відповідно. Міцність зразків керамзитобетонів на 3 добу твердіння становить 22,8 МПа, на 7 добу — 26,3 МПа та на 28 добу — 32,4 МПа. Рухливість керамзитобетонних сумішей при  $\text{В/Ц}=0,45$  складала відразу – 19 см, через 60 хв. – 18 см, через 120 хв. – 16 см і відповідала марці P4.

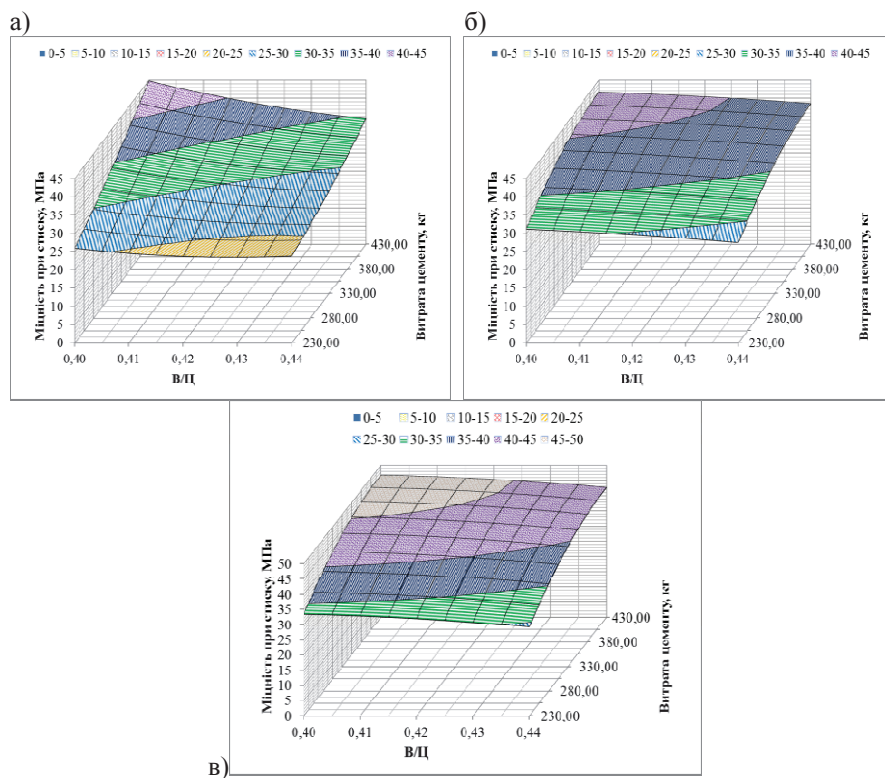


Рис. 2. Діаграми зміни міцності при стиску зразків керамзитобетону, модифікованого комплексною органо-кремнезистою добавкою, після твердіння: 3 (а), 7 (б), 28 (в) діб

Якщо порівнювати результати міцності при стиску досліджувальних складів бетонів (рис.2), то можна відмітити, що приріст міцності складає до 30% в разі використання комплексної органо-кремнезистої добавки і залежить від витрати цементу і водоцементного відношення.

В період з 04.06.2016 р. по 05.08.2016 р. було проведено випуск дослідної партії товарного керамзитобетону на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнезистою добавкою загальним об'ємом 120 м<sup>3</sup>, який було використано при будівництві житлового комплексу "Атлант 2" за адресою м. Київ, вул. Пономарьова, 26 (рис.3.)



Рис. 3. Загальний вигляд монолітно-каркасного будинку в м. Київ,  
вул. Пономарьова, 26.



Рис. 4. Загальний вигляд бетонозмішувального вузла

Керамзитобетонну суміш готували на бетонозмішувальному вузлі заводу ПП “Будіндустрія-1” у бетонозмішувачі примусової дії об’ємом завантаження 1500 л і об’ємом виходу готового замісу 1000 л. Точність дозування компонентів бетонних сумішей, правила приймання і методи контролю якості відповідали вимогам ДСТУ Б В.2.7-96-2000. Загальний вигляд бетонозмішувального вузла представлено на рис. 4. Розроблений склад бетонної суміші наведено у табл.2. Отриманий легкий бетон з середньою густиною 1820 кг/м<sup>3</sup> відповідав за міцністю класу LC25/28 (ДСТУ Б В. 2.7-176:2008)

Таблиця 2  
Рекомендований до впровадження склад керамзитобетонної суміші

Витрата матеріалів на 1м <sup>3</sup> , кг (%)						
Портланд-цемент ПЦ І-500Р	Пісок кварцовий, M <sub>к</sub> =1,39	Керамзитовий гравій, фр. 5-10 мм	Вода	Тонкомелений «Трепел» S <sub>тпт</sub> = 2130 м <sup>2</sup> /кг	Суперпластифікатор «SikaPlast 555W» (ρ <sub>гус</sub> = 1,08 кг/л)	В/Ц
300 (16,017%)	980 (52,32%)	410 (21,89%)	148,5 (7,933%)	30 (1,6%)	4,5 (0,24%)	0,45

Порівняльні розрахунки собівартості базового варіанту та нового технічного рішення наведені у табл.4. Собівартість дослідної партії визначали, виходячи з діючих цін на матеріали станом на червень 2016 р

Відоме базове рішення — це використання суперпластифікатора «КМ-1» у кількості 1,2 % від маси цементу для керамзитобетону.

Нове технічне рішення, що пропонується — це використання розробленої комплексної органо-мінеральної добавки, що складається з трепелу у кількості 10 % від маси в’язучої речовини і суперпластифікатора «SikaPlast 555W» у кількості 1,5 % від маси цементу для отримання керамзитобетону класу LC25/28 і вище.

Враховуючи досягнений ефект від використання запропонованої органо-мінеральної добавки у новому складі керамзитобетонної суміші було зменшено витрату портландцементу на 21% при збереженні проектного класу бетону за міцністю на стиск LC25/28 (М300).

Таким чином, впровадження у технологію будівництва керамзитобетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, дозволяє не тільки досягти потрібний технічний ефект, але й отримати економічний ефект 90,25 грн. на 1 м<sup>3</sup> бетону.

Таблиця 3

Порівняльний розрахунок собівартості 1 м<sup>3</sup> товарних  
керамзитобетонних сумішей\*

№ п/п	Статті калькуляції	Одиниця вимірювань	Вартість одиниці, грн.	Базовий варіант		Новий варіант	
				Норма витрат на 1 м <sup>3</sup>	Вартість, грн.	Норма витрат на 1 м <sup>3</sup>	Вартість, грн.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ПЦ І-500Р	т	1468	0,38	557,84	0,3	440,4
2	Трепел	т	420	-	-	0,03	12,6
3	Керамзит (5-10 мм)	м <sup>3</sup>	840	0,67	562,8	0,67	562,8
4	Пісок кварцовий	т	76	0,91	69,16	0,98	74,48
5	Суперпластифікатор «КМ-1»	кг	32,5	4,56	148,2	-	-
6	Суперпластифікатор «SikaPlast 555W»	кг	35	-	-	4,5	157,5
7	Вода	м <sup>3</sup>	0,65	0,21	0,1365	0,165	0,11
8	Всього сировини				1338,14		1247,89
9	Транспортні витрати	грн.			10		10
10	Електроенергія	кВт·год	2,2	2,27	5	2,27	5
11	Всього матеріальних витрат	грн.			1353,14		1262,89

Примітка: (проектний клас за міцністю на стиск LC25/28 (M300), марка бетонної суміші за легкоукладальністю P4) на основі портландцементу ПЦ І-500Р (базовий варіант) і на основі портландцементу ПЦ І-500Р, модифікованого комплексною органо-мінеральною добавкою (новий варіант).

**Висновки:**

Проведено апробацію випуску дослідної партії товарних керамзитобетонних сумішей і високоміцних керамзитобетонів на його основі для каркасно-монолітного будівництва. Економічний ефект від впровадження його в бетонні склав 90,25 грн. за 1 м<sup>3</sup> готової продукції.

Підтверджена повна відповідність властивостей товарних керамзитобетонних сумішей і керамзитобетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, реальним



умовам виробництва і експлуатації, що свідчить про їх високу ефективність і функціональність в монолітному будівництві. Рухливість бетонної суміші протягом 120 хв. відповідала марці Р4. Отриманий легкий бетон з середньою густиною  $1820 \text{ кг/м}^3$  відповідав класу LC25/28 (середня міцність на стиск на 28 добу становила 32,4 МПа).

1. Баженов Ю.М. Технология бетона[Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 528с. 2. Довжик В.Г. Технология высокопрочного керамзитобетона[Текст] / В.Г. Довжик, В.А. Дорф, В.П. Петров. – М.: Стройиздат, 1976. – 136 с. 3. Берг О.Я. Высокопрочный бетон [Текст] / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко. - М.: Стройиздат, 1971. – 208с. 4. Бабич Е.М. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях[Текст] / Е.М. Бабич. — Киев: «Вища школа», 1988. – 207с. 5. Пушкарьова К.К. Особливості модифікації цементної матриці для отримання високоміцних легких керамзитобетонів [Текст] / К. К. Пушкарьова, О. А. Гончар, К. О. Каверин // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2014. – Вип. 52. – С. 43–48. 6. Пушкарьова К.К. Дослідження високоміцних цементних композицій, модифікованих комплексними органо-кремнеземистими добавками/ Пушкарьова К.К., Каверин К.О., Калантаєвський Д.О. [Текст] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий №5 (77) – 2015. Харків – с.42-51. 7. Каверин К.О. Високоміцні легкі керамзитобетони, модифіковані полікарбоксилатними суперпластифікаторами / Каверин К.О. [Текст] // 36. наук. праць «Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка» № 56 (ISSN 2413-7693) – 2015. Київ – с. 47-54.