

УДК 691.075.3/691.54+691.327.3 DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.169.2017.111058>

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОМІЦНИХ ЛЕГКИХ КЕРАМЗИТОБЕТОНІВ, МОДИФІКОВАНИХ КОМПЛЕКСНОЮ ОРГАНО-КРЕМНЕЗЕМИСТОЮ ДОБАВКОЮ

Д-р техн. наук К. К. Пушкарьова, асист. К. О. Каверин

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ КЕРАМЗИТОБЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСНОЙ ОРГАНО-КРЕМНЕЗЕМИСТОЙ ДОБАВКОЙ

Д-р техн. наук Е. К. Пушкарева, асист. К. А. Каверин

RESEARCH OF OPERATIONAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH LIGHTWEIGHT CONCRETE MODIFIED BY INTEGRATED ORGANIC AND SILICEOUS ADDITIVES

DSc, Prof. K. K. Pushkarova, assistant K. A. Kaverin

У статті наведено склади високоміцних легких керамзитобетонів і результати дослідження експлуатаційних властивостей легкого керамзитобетону на основі портландцементу, модифікованого комплексними органо-кремнеземистими добавками, і встановлено, що використання таких добавок сприяє не тільки підвищенню міцності, але й зменшенню відносних деформацій усадки, підвищенню корозійної стійкості, морозостійкості та водонепроникності легкого бетону за рахунок зменшення відкритої пористості та направленою формування фазового складу продуктів гідратації порівняно зі зразками без добавок.

Ключові слова: портландцемент, суперпластифікатор, мікрокремнезем, комплексна органо-мінеральна добавка, міцність при стиску, морозостійкість, відносні деформації усадки, водонепроникність, корозійна стійкість.

В статье приведены составы высокопрочных легких керамзитобетонных и результаты исследования эксплуатационных свойств легкого керамзитобетона на основе портландцемента, модифицированного комплексными органо-кремнеземистыми добавками, и установлено, что использование таких добавок способствует не только повышению прочности, но и уменьшению относительных деформаций усадки, повышению коррозионной стойкости, морозостойкости и водонепроницаемости легкого бетона за счет уменьшения открытой пористости и направленного формирования фазового состава продуктов гидратации по сравнению с образцами без добавок.

Ключевые слова: портландцемент, суперпластификатор, микрокремнезем, комплексная органо-минеральная добавка, прочность при сжатии, морозостойкость, относительные деформации усадки, водонепроницаемость, коррозионная стойкость.

The article has the compound of high-strength concrete and research results of operational properties of lightweight concrete based on portland cement modified by a complex of organic-silica additives based polycarboxylates superplasticizers different brands and finely ground tripoli. It is established that the use of such additives contributes not only for increase strength of concrete, but decrease deformation of shrinkage, increase corrosion resistance, frost resistance, waterproof of lightweight concrete by reducing the open porosity and directed the

formation of the phase composition of products hydration compared in comparison with the samples of concrete without additives.

Keywords: portland cement, superplasticizer, microsilica, complex organic-mineral additive, compressive strength, frost resistance, shrinkage strain, water resistance, corrosion resistance.

Вступ. Високоміцні легкі бетони є перспективними для застосування у промисловому і цивільному будівництві при зведенні багатоповерхових житлових і громадських будівель, будівництві дорожніх мостів, естакад і розв'язок, а також при зведенні споруд спеціального призначення, що обумовлено позитивними якостями і перевагами по відношенню до важкого бетону [1-3].

Основними передумовами синтезу міцності і довговічності високоміцних легких бетонів є більш повне використання потенційних можливостей портландцементу. В останні роки це зазвичай досягається застосуванням різних модифікуючих добавок [4-8].

Мета роботи. Метою роботи є дослідження експлуатаційних властивостей високоміцних легких керамзитобетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексними органо-кремнеземистими добавками.

Сировинні матеріали. У дослідженнях використовували портландцемент ПЦ І-500Р, модифікований комплексною органо-мінеральною добавкою на основі полікарбоксилатів (SikaPlast 555W, MC PowerFlow 3100) і кремнеземистої добавки (тонкомолотий трепел Коноплянського родовища ($S_{\text{пит}}=21300 \text{ см}^2/\text{г}$)). Як дрібний заповнювач використано пісок дніпровський річковий кварцовий з модулем крупності $M_k = 1,28$. У якості крупного заповнювача застосовано керамзитовий гравій ТОВ «Хмельницький завод керамзитового гравію» з насипною густиною 600 кг/м^3 (М600), марка за міцністю П125 (міцність при стискуванні в циліндрі $3,03 \text{ МПа}$).

Методи дослідження. Фізико-механічні характеристики одержаних

керамзитобетонів вивчені з застосуванням традиційних методик за діючими нормативними документами [9, 10].

Деформативні характеристики легкого бетону оцінені за величиною відносної усадки, яка визначена як середнє арифметичне значення зменшення розмірів зразка відносно початкового відліку [11].

Дослідження морозостійкості виконано за прискореною методикою [12].

Для дослідження корозійної стійкості бетонів були вибрані 5 % розчин сульфату натрію, 5 % розчин сульфату амонію та 1 % розчин сульфату магнію з урахуванням можливих умов експлуатації розроблених складів керамзитобетону. За даною методикою, зразки є корозійностійкими, якщо після випробування у віці 180 діб коефіцієнт стійкості відповідає вимогам нормативних документів $K_c \geq 0,8$ [13].

Дослідження водонепроникності керамзитобетону проведено за допомогою приладу УВБ-МГ4 за роботою [14].

Результати досліджень та їх обговорення. Підбір складу керамзитобетону виконано враховуючи результати попередніх досліджень щодо модифікації портландцементної матриці органо-кремнеземистими добавками [15-17].

Кінетика нарощування міцності досліджених зразків керамзитобетонів подана у табл. 1.

Аналізуючи результати кінетики набору міцності при стиску керамзитобетону, можна зазначити, що найбільш ефективним виявився склад № 4, модифікований комплексною добавкою на основі суперпластифікатора «SikaPlast 555W» і тонкомеленого трепелу. Міцність при стиску на 28 добу склала $38,2 \text{ МПа}$, що на 38 % більше порівняно з контрольним складом (табл. 1, склад № 1).

Таблиця 1

Зміна міцності при стиску зразків керамзитобетону в часі

Номер складу	Склад керамзитобетонної суміші, кг/м ³						Міцність при стиску, МПа, після твердіння, діб					Середня густина, кг/м ³
	Портландцемент ПЦ І-500Р, кг	Пісок кварцовий (Мк=1,21), кг	Керамзитовий гравій (М600) фр. 5-10, кг	Тонкомелений трепел, кг	Суперпластифікатор, кг		3	7	28	180	365	
					SikaPlast 555W (1,5%)	Power Flow 3100 (1%)						
1	330	940	410	-	-	-	21,6	23,3	27,6	32,8	33,6	1853
2	330	940	410	-	4,95	-	22,7	26,1	34,9	35,8	37,4	1858
3	330	940	410	-	-	3,3	22,8	26,3	33,8	35,2	36,7	1840
4	300	940	410	33	4,5	-	29,8	34,1	38,2	40,5	44,2	1859
5	300	940	410	33	-	3	30,9	33,7	37,7	40	43,8	1880

Для дослідження ефективності використання модифікуючої органо-кремнеземистої добавки було використано такі склади керамзитобетону: № 1 – контрольний, № 2 – модифікований суперпластифікатором і № 4 – комплексною добавкою.

Як відомо, головною причиною усадки портландцементних систем є об'ємні зміни гелю цементного каменю при

його висиханні, які залежать від мінералогічного складу системи, тонкості помелу цементу, умов і часу твердіння. На мікрорівні величина усадки залежить перш за все від співвідношення кристалічних і гелеподібних фаз у продуктах гідратації в'язучої композиції.

Дослідження зміни відносної усадки керамзитобетонів наведено на рис. 1.

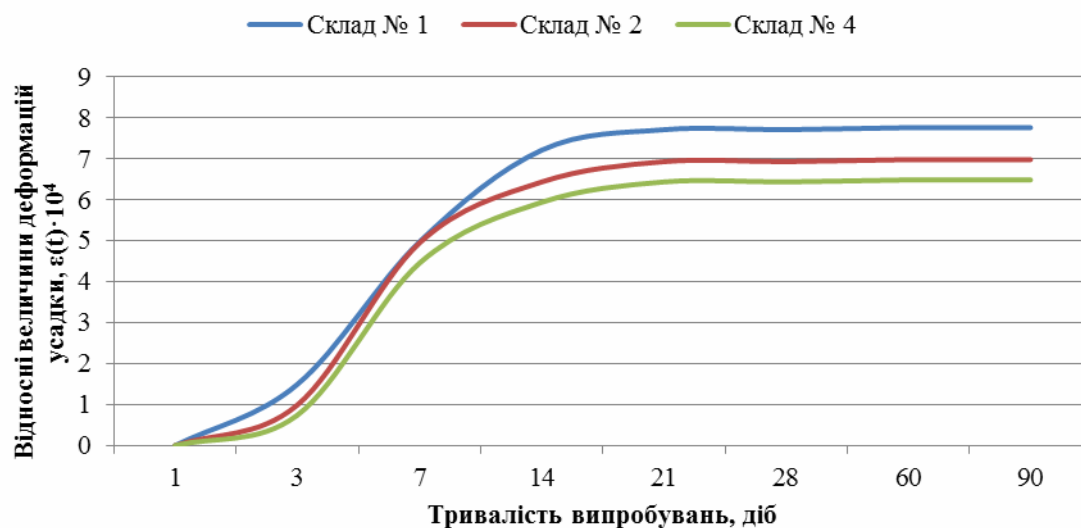


Рис. 1. Порівняння відносної усадки керамзитобетону різного складу (склади бетонів прийнято за табл. 1)

При дослідженні зміни відносної усадки керамзитобетонів було встановлено, що введення добавки полікарбоксилатного суперпластифікатора «SikaPlast 555W» до складу бетону сприяє зменшенню усадки на 10...12 %, а введення комплексної органо-кремнеземистої добавки — на 16...19 % порівняно з контрольним складом.

Результати дослідження корозійної стійкості досліджених зразків подано на рис. 2, а залишкову міцність зразків після витримування в агресивних середовищах впродовж 180 діб наведено в табл. 2.

Аналіз отриманих результатів дозволяє визначити, що керамзитобетони на основі портландцементних в'язучих композицій, модифікованих комплексною добавкою, що містить полікарбоксилатний суперпластифікатор «SikaPlast 555W» і тонкомелений трепел Коноплянського родовища, мають досить високі показники коефіцієнтів корозійної стійкості порівняно з бездобавочними портландцементними композиціями (рис. 2, табл. 2, склад № 4).

Таблиця 2

Зміна міцності керамзитобетонів після зберігання в агресивних середовищах

Номер складу	Витрата компонентів на 1 м ³ бетонної суміші, мас. %					Міцність при стиску контрольних зрізків, МПа, у віці 28 діб	Міцність при стиску, МПа, після 180 діб твердіння в агресивних середовищах		
	ПЦ І -500Р	Керамзитовий гравій	Кварцовий пісок	Суперпластифікатор «SikaPlast 555W»	Трепел		1% розчин MgSO ₄	5% розчин Na ₂ SO ₄	5% розчин (NH ₄) ₂ SO ₄
1	19,2	23,83	56,97	-	-	27,6	23,74	22,08	19,32
2	19,14	23,77	56,83	0,26	-	34,9	33,16	30,02	28,27
4	17,4	23,77	56,83	0,26	1,74	38,2	37,44	34,38	33,23

■ 1% р-н сульфату магнію ■ 5% р-н сульфату натрію ■ 5% р-н сульфату амонію

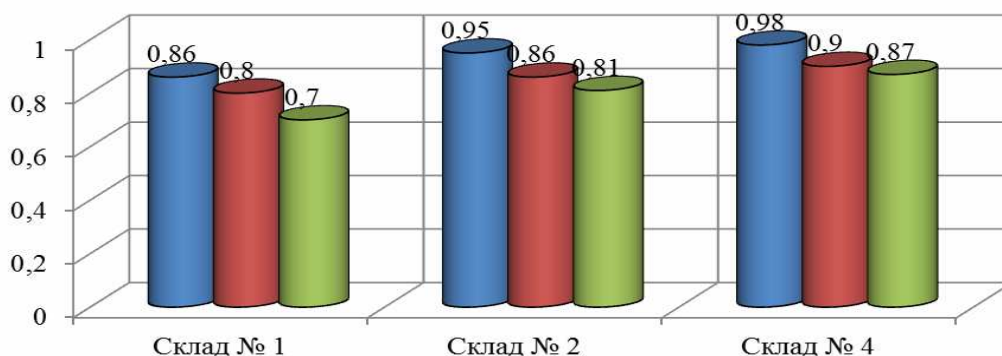


Рис. 2. Порівняння коефіцієнтів корозійної стійкості K_c керамзитобетонів різного складу (за табл. 2) після 180 діб витримування в агресивних середовищах (1% $MgSO_4$; 5% Na_2SO_4 та 5% $(NH_4)_2SO_4$)

Так, значення K_c портландцементного керамзитобетону, модифікованого комплексною орґано-кремнеземистою добавкою, у розчинах сульфату маґнію зростає на 10...14 % порівняно з бездобавочним складом. У розчинах сульфату натрію цей показник підвищується на 7,5...12,5 %, а в розчинах сульфату амонію — на 15...24 % порівняно з контрольним складом.

Підвищення корозійної стійкості керамзитобетонів можна пояснити зниженням відкритої пористості та зменшенням водопоглинання, що досягається шляхом ущільнення структури портландцементного каменю.

Визначення морозостійкості модифікованого бетону проводили за

прискореною методикою при витримуванні зразків у середовищі 5%-го розчину хлориду натрію і температурі -50°C . За вимогами нормативних документів, втрата міцності зразків, що витримали певну кількість циклів наперемінного заморожування-відтавання, не повинна перевищувати 5 %. Результати досліджень подано в табл. 3.

Отримані дані свідчать про те, що контрольний склад керамзитобетону на основі портландцементу ПЦ І-500Р (табл. 3) забезпечує отримання марки бетону за морозостійкістю F200, оскільки втрата міцності після 6 циклів наперемінного заморожування-відтавання склала 6,82 %, що перевищує 5 %.

Таблиця 3

Порівняння морозостійкості керамзитобетонів різного складу

Номер складу	Витрата компонентів на 1 м ³ бетонної суміші, мас.%					Втрата міцності, %, після циклічного заморожування і відтавання			Марка за морозостійкістю
	ПЦ І -500Р	Керамзитовий гравій	Кварцовий пісок	Суперпластифікатор «SikaPlast 555W»	Трепел				
						6	10	14	
1	19,2	23,83	56,97	-	-	-6,82	-	-	F200
2	19,14	23,77	56,83	0,26	-	-	-5,61	-	F300
4	17,4	23,77	56,83	0,26	1,74	-	-	-5,08	F400

Модифікація керамзитобетону добавкою суперпластифікатора “SikaPlast 555W” (табл. 3) дозволяє підвищити морозостійкість до F300. Втрата міцності на 10-му циклі наперемінного заморожування-відтавання склала 5,61 %.

Модифікація керамзитобетону комплексною орґано-кремнеземистою добавкою на основі суперпластифікатора

“SikaPlast 555W” і тонкомеленого трепелу (табл. 1, склад № 4) забезпечує марку за морозостійкістю F400, що підтверджується результатами випробувань. Втрата міцності на 14-му циклі наперемінного заморожування-відтавання склала 5,08 %.

Підвищення морозостійкості керамзитобетону на основі портландцементу, модифікованого комплексною добавкою,

може бути пояснено наявністю більш оптимальної порової структури і зменшенням об'єму відкритих капілярних пор матеріалу, що забезпечує меншу кількість льоду, утвореного в порах бетону при від'ємних температурах, і відповідно зменшення значень виникаючих напружень у структурі матеріалу.

Істотне значення в забезпеченні водостійкості бетону має його водонепроникність, яка вимірюється значенням гідростатичного тиску, внаслідок чого крізь бетон починає просочуватись вода. Водонепроникність бетону забезпечується рядом технологічних прийомів, які підвищують щільність структури як цементного каменю, так і

бетону в цілому, що досягається зниженням В/Ц відношення, оптимізацією гранулометричного складу. З метою оцінки ефективності оптимізованого складу було досліджено водонепроникність керамзитобетону. Результати випробувань подано в табл. 4.

При дослідженні водонепроникності керамзитобетону було встановлено, що при модифікації керамзитобетону суперпластифікатором забезпечується підвищення водонепроникності на 13 %, у той же час введення комплексної органо-кремнеземистої добавки сприяє підвищенню водонепроникності до 0,832 МПа, що на 37 % більше порівняно з контрольним складом.

Таблиця 4

Визначення водонепроникності керамзитобетонів різного складу

Номер складу	Витрата компонентів на 1 м ³ бетонної суміші, мас. %					Середнє значення тиску води, МПа	Марка за водонепроникністю
	ПЦ І -500Р	Керамзитовий гравій	Кварцовий пісок	Суперпластифікатор «SikaPlast 555W»	Трепел		
1	19,2	23,83	56,97	-	-	0,605	W6
2	19,14	23,77	56,83	0,26	-	0,688	W6
3	17,4	23,77	56,83	0,26	1,74	0,832	W8

Висновки:

1. Досліджено фізико-механічні та експлуатаційні властивості керамзитобетонів на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою. Показано, що модифіковані легкі бетони відрізняються не тільки кращою кінетикою нарощування міцності в часі, але й меншою відносною усадкою (на 16...19 %), підвищеною корозійною стійкістю в сульфатних розчинах (до 20 %), морозостійкістю F400 і

водонепроникністю W8 порівняно з контрольним складом.

2. Підвищення експлуатаційних властивостей модифікованого керамзитобетону можна пояснити за рахунок зменшення відкритої пористості та направленою формування фазового складу продуктів гідратації (низькоосновних гідросилікатів і гідроалюмосилікатів кальцію), що обумовлює ефективність використання даної комплексної добавки.

Список використаних джерел

1. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика [Текст] / В. Г. Батраков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1998. – 768 с.
2. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 380 с.
3. Дворкин, Л. И. Цементные бетоны с минеральными наполнителями [Текст] / Л. И. Дворкин, В. Н. Выровой и др. – К.: Будівельник, 1991. – 136 с.
4. Ризван, С. А. Роль минеральных добавок в высококачественных цементных системах [Текст] / С.А. Ризван, Т.А. Байер // Бетон и железобетон – пути развития: научные труды II Всеросс. (Международ.) конф. по бетону и железобетону. – М.: Дипак, 2005. – Т. 3. – С. 727-732.
5. Пушкарьова, К. К. Дослідження впливу органо-кремнеземистих добавок на міцність цементних композицій [Текст] / К. К. Пушкарьова, К. О. Каверин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2014. – № 57. – С. 371-379.
6. Пушкарьова, К. К. Дослідження сумісності дії складових органо-кремнеземистої добавки та їх вплив на процеси структуроутворення цементного каменю [Текст] / К.К. Пушкарьова, К.О. Каверин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2015. – Вип. 31. – С. 322-329.
7. Pushkarova, K. K. Research of high-strength cement compositions modified by complex organic-silica additives [Text] / K. K. Pushkarova, K. O. Kaverin, D. O. Kalantaevsky // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2015. - Vol. 5, Issue 5 (77). - P. 42-51. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51836.
8. Marushchak, U. Research of nanomodified portland cement compositions with high early age strength / Marushchak U., Sanytsky M., Mazurak T., Olevych Yu. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol.6, Issue 6(84). – P. 50-57. doi: 10.15587/1729-4061.2016.84175.
9. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ). Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови [Текст]. – Чинний від 2010-04-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 109 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками [Текст]. – Чинний від 2009-12-22. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2010. – 36 с.
11. ДСТУ Б В.2.7-216:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення деформацій усадки та повзучості [Текст]. – Чинний від 2010-09-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 29 с.
12. ДСТУ Б В.2.7-49-96 (ГОСТ 10060.2-95). Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні [Текст]. — Чинний від 1996-09-01. – К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 9 с.
13. Лещинский, М. Ю. Испытания бетона [Текст] / М. Ю. Лещинский. – М.: Стройиздат, 1980. – 360 с.
14. ДСТУ Б В.2.7-170:2009. Будівельні матеріали. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності [Текст]. – Чинний від 2009-07-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 39 с.
15. 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: зб. наук. праць. – К., 2014. – № 52. – С. 43-48.

16. Каверин, К. О. Високоміцні легкі керамзитобетони, модифіковані полікарбосилатними суперпластифікаторами [Текст] / К. О. Каверин // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка: зб. наук. праць. – К., 2015. – № 56. – С. 47-54.

17. Пушкарьова, К. К. Використання високоміцних керамзитобетонів в каркасно-монолітному будівництві [Текст] / К.К. Пушкарьова, К.О. Каверин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне, 2016. – Вип. 33. – С. 75-83.

Пушкарьова Катерина Костянтинівна, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (044)245-48-31.

E-mail: sribm_pushkarova@mail.ru.

Каверин Костянтин Олександрович, асистент кафедри будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (044)245-48-31. E-mail: Kaverin_K_RAF@mail.ru.

Pushkarova K.K., Prof., DSc, Department of building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture. Tel. (044)245-48-31. E-mail: sribm_pushkarova@mail.ru.

Kaverin K. A., Assistant, Department of building materials, Kyiv National University of Civil Engineering & Architecture. Tel. (044)245-48-31. E-mail: Kaverin_K_RAF@mail.ru.

Стаття прийнята 10.04.2017 р.