

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ТВЕРДІННЯ НА ЗМІНУ МІЦНОСТІ ПРИ СТИСКУ МОДИФІКОВАНИХ КЕРАМЗИТОБЕТОНІВ**

**Пушкарьова К.К.**, д.т.н., професор,  
**Каверин К.О.**, асистент,  
*Київський національний університет будівництва і архітектури*  
Pushkarova56@gmail.com

**Анотація.** В статті наведені результати дослідження впливу температури твердіння на зміну міцності при стиску модифікованих легких бетонів. Аналіз результатів свідчить про те, що бетони на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, характеризуються більш інтенсивним набором міцності при підвищенні та пониженні температури твердіння порівняно з контрольним складом бетону. Використання комплексної добавки дозволяє відмовитися від високотемпературних режимів термічної обробки, замінивши їх низькотемпературними технологіями для прискорення твердіння бетону. Крім того, комплексну органо-кремнеземисту добавку можна охарактеризувати як перспективну для використання не тільки в монолітній конструкції, але і для виготовлення збірних конструкцій та споруд.

**Ключові слова:** температура твердіння, міцність при стиску, комплексна органо-кремнеземиста добавка, високоміцний легкий керамзитобетон.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТВЕРДЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КЕРАМЗИТОБЕТОНОВ**

**Пушкарева Е.К.**, д.т.н., профессор,  
**Каверин К.А.**, ассистент,  
*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*  
Pushkarova56@gmail.com

**Аннотация.** В статье наведены результаты исследования влияния температуры твердения на изменение прочности при сжатии модифицированных легких бетонов. Анализ результатов свидетельствует о том, что бетоны на основе портландцемента, модифицированного комплексной органо-кремнеземистой добавкой, характеризуются более интенсивным набором прочности при повышении и понижении температуры твердения по сравнению с контрольным составом бетона. Использование комплексной добавки позволяет отказаться от высокотемпературных режимов термической обработки, заменив их низкотемпературными технологиями для ускорения твердения бетона. Кроме того, комплексную органо-кремнеземистую добавку можно охарактеризовать как перспективную для использования не только в монолитных конструкциях, но и для изготовления сборных конструкций и сооружений.

**Ключевые слова:** температура твердения, прочность при сжатии, комплексная органо-кремнеземистая добавка, высокопрочный легкий керамзитобетон.

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THE HARDENING TEMPERATURE ON THE CHANGE OF STRENGTH DURING COMPRESSION OF MODIFIED EXPANDED CLAY LIGHTWEIGHT CONCRETES**

**Pushkarova E.K.**, Doctor of Engineering, Professor,

**Abstract.** The article presents the results of the study of the effect of hardening temperature on the change of strength during compression of modified lightweight concretes. The analysis of the results shows that concretes based on Portland cement, modified with a complex organo-silica additive, are characterized by more intense increase of strength when increasing and lowering the hardening temperature compared to the control composition of concrete.

When the samples are kept under the heat treatment mode 3+3+3 hours at a temperature ( $t = 30 \pm 2$  °C) for expanded clay lightweight concrete, modified with a complex organo-silica additive, the compressive strength is 82% of the strength of the control composition of expanded clay lightweight concrete after hardening for 28 days .

Using a complex additive allows to abandon the high-temperature modes of heat treatment, replacing them with low-temperature technologies for accelerating the hardening of concrete. Also, a complex organo-silica additive can be characterized as promising for use not only in monolithic construction, but also for the manufacture of prefabricated constructions and structures.

**Keywords:** thermal temperature, compressive strength, complex organo-silica additive, high-strength expanded clay lightweight concrete.

**Вступ.** Одним з головних фізичних чинників, який суттєво впливає на розвиток процесу структуроутворення і твердіння керамзитобетону, є фактор температури. Із підвищенням температури в навколишньому середовищі інтенсивність процесів тверднення збільшується, а зниження температури провокує уповільнення цих процесів. При монолітному бетонуванні конструкцій і споруд, бетон, як правило, твердіє в діапазоні температур від 5 до 35 °C, що відповідно впливає на кінетику набору міцності бетону у часі. При використанні камер теплової обробки періодичної або безперервної дії для виготовлення збірних конструкцій із керамзитобетону процеси твердіння відбуваються при температурі до 80°C і відносній вологості навколишнього середовища до 95 %, при цьому спостерігається збільшення швидкості реакції гідратації цементу у 10–20 разів, прискорюється процес тверднення бетону, і вироби в коротший термін набувають міцності, що необхідна для їх розформування, транспортування і монтажу [1-7].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Як відомо, твердіння бетонних виробів повинно відбуватися в умовах, які сприяють отриманню міцності після розпалубки і відпускнуї міцності в найбільш короткі терміни без перевитрати цементу. Найбільш ефективно це питання вирішує тепловолога обробка, використання якої протягом 3 годин при температурі 80 °C забезпечує отримання бетону з міцністю при стиску 70% від міцності на 28 добу [6]. Останніми роками розроблено і впроваджено цілу низку новітнього устаткування для теплової обробки бетонних виробів. В той час дослідники значну увагу приділяють розвитку напрямку прискорення твердіння бетонних і залізобетонних виробів без використання теплоносія, але, на жаль, ця проблема залишається не вирішеною. Так, наприклад, Гуваловим А.А. [7] проведені експериментальні дослідження щодо визначення впливу різних комплексних добавок на процеси твердіння важкого бетону з метою впровадження низькотемпературної технології теплової обробки (при температурі до 30°C). Показано, що використання сучасних комплексних добавок відкриває нові можливості переходу на низькотемпературні технології прискорення твердіння бетону.

Враховуючи вищенаведене, **метою роботи** є дослідження впливу зміни температури навколишнього середовища та режимів тепловологої обробки на процеси набору міцності при стиску керамзитобетонів, модифікованих суперпластифікатором та комплексною органо-кремнеземистою добавкою у віці 3, 7 та 28 діб.

**Сировинні матеріали та методи досліджень.** В якості сировинних матеріалів в дослідженнях використовували портландцемент ПЦ І-500Р, керамзитовий гравій марки М600,

фракції 5...10 мм, пісок Дніпровський кварцовий ( $M_k=1,21$ ), полікарбосилатний суперпластифікатор торгової марки «SikaPlast 555W» та тонкомелену кремнеземисту добавку на основі трепелу Коноплянського родовища з питомою поверхнею ( $S_{\text{пит}}=21997 \text{ см}^2/\text{г}$ ).

Бетонні зразки виготовляли у лабораторних умовах при температурі ( $t^0 = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ ), з подальшим їх витриманням у наступних умовах: твердіння при відносно високій температурі ( $t = 80 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $W = 40\%$ ) за режимом 3+3+3 та твердіння протягом 28 діб при різних температурах, в тому числі при  $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $W = 60\%$ ;  $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $W = 100\%$  та  $t = 10 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $W = 60\%$ .

**Результати досліджень** впливу температури твердіння на кінетику зміни міцності при стиску керамзитобетонів наведено у таблиці 1. Отриманні дані свідчать, що зниження температури навколишнього середовища до  $t = 10 \pm 2^\circ\text{C}$  обумовлює зниження інтенсивності набору міцності бетонів на всіх етапах тверднення. Так, міцність керамзитобетону, модифікованого комплексною добавкою через 3 доби твердіння знижується на 13%, через 7 діб на 7,4%, через 28 діб на 8%, порівняно з міцністю бетонів, які тверділи за нормальних умов.

Аналіз результатів досліджень свідчить про те, що за нормальних умов твердіння ( $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) керамзитобетон при використанні комплексної органо-кремнеземистої добавки (табл. 1, склад № 3.2), характеризується високою кінетикою набору міцності як на ранніх етапах твердіння, так і в проектному віці, порівняно з контрольним складом керамзитобетону (табл. 1, склад № 1.2).

Витримання зразків керамзитобетонів протягом 3 годин за режимом теплової обробки 3+3+3 годин при температурі ( $t = 80 \pm 2^\circ\text{C}$ ) забезпечує зростання міцності при стиску на 72% порівняно з міцністю на 28 добу для контрольного складу.

Для керамзитобетону, модифікованого полікарбосилатним суперпластифікатором, при витриманні за режимом теплової обробки 3+3+3 годин при температурі  $t = 80 \pm 2^\circ\text{C}$ , збільшення міцності при стиску досягає 80% порівняно з міцністю цього бетону на 28 добу.

Для керамзитобетону, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, при аналогічних умовах твердіння, міцність при стиску зростає на 86% порівняно з міцністю керамзитобетону такого ж складу, але після твердіння у віці 28 діб.

Така ж сама тенденція має місце при витриманні зразків за режимом теплової обробки 3+3+3 годин при температурі ( $t = 30 \pm 2^\circ\text{C}$ ), при цьому спостерігається зростання міцності при стиску на 68% порівняно з міцністю на 28 добу для контрольного складу, а міцність керамзитобетону, модифікованого полікарбосилатним суперпластифікатором, досягає 67% порівняно з міцністю цього бетону на 28 добу. Для керамзитобетону, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, при аналогічних умовах твердіння, міцність при стиску становить 82% від міцності керамзитобетону такого ж складу після твердіння протягом 28 діб.

Враховуючи реалії сьогодення, які спрямовані на збереження енергетичних ресурсів, можна відмітити, що використання комплексних добавок дозволяє відмовитись від високотемпературної обробки, замінивши її на низькотемпературну, оскільки отриманні результати зміни міцності модифікованих керамзитобетонів після теплової обробки за вище наведеними параметрами є подібними.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Аналіз результатів свідчить про те, що керамзитобетони на основі портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, характеризуються більш інтенсивним набором міцності при підвищенні та пониженні температури твердіння порівняно з контрольним складом керамзитобетону, що характеризує комплексну органо-кремнеземисту добавку [8-15] як перспективну для використання не тільки в монолітному будівництві, але і для виготовлення збірних конструкцій і споруд.

Використання комплексної добавки дозволяє відмовитись від високотемпературних режимів теплової обробки, замінивши їх на низькотемпературні технології прискорення твердіння бетону.

Таблиця 1– Результати впливу температури твердіння на кінетику зміни міцності при стиску керамзитобетонів різного складу

№ складу	Витрата компонентів на 1м <sup>3</sup> бетонної суміші, мас.%					Умови твердіння	Міцність при стиску, МПа, після твердіння, діб																		
	ПЦ І -500Р	Керамзитовий гравій фр. 5-10, М600	Кварцовий пісок	Суперпластифікатор «SikaPlast 555W»	Тонкомелений трепел		3	7	28																
1.3	19,2	23,83	56,97	-	-	t = 10 ± 2 °C	<p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, діб</p> <table border="1"> <caption>Міцність при стиску, МПа (t = 10 ± 2 °C)</caption> <thead> <tr> <th>Час</th> <th>1.3</th> <th>2.3</th> <th>3.3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>12,2</td> <td>20,2</td> <td>25,9</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>14,7</td> <td>23,6</td> <td>29,7</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>20,3</td> <td>31,4</td> <td>35,1</td> </tr> </tbody> </table>			Час	1.3	2.3	3.3	3	12,2	20,2	25,9	7	14,7	23,6	29,7	28	20,3	31,4	35,1
Час	1.3	2.3	3.3																						
3	12,2	20,2	25,9																						
7	14,7	23,6	29,7																						
28	20,3	31,4	35,1																						
2.3	19,14	23,77	56,83	0,26	-																				
3.3	17,4	23,77	56,83	0,26	1,74																				
1.2	19,2	23,83	56,97	-	-	t = 20 ± 2 °C	<p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, діб</p> <table border="1"> <caption>Міцність при стиску, МПа (t = 20 ± 2 °C)</caption> <thead> <tr> <th>Час</th> <th>1.2</th> <th>2.2</th> <th>3.2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>14,8</td> <td>22,7</td> <td>29,8</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>16,5</td> <td>26,1</td> <td>32,1</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>22,9</td> <td>34,9</td> <td>38,2</td> </tr> </tbody> </table>			Час	1.2	2.2	3.2	3	14,8	22,7	29,8	7	16,5	26,1	32,1	28	22,9	34,9	38,2
Час	1.2	2.2	3.2																						
3	14,8	22,7	29,8																						
7	16,5	26,1	32,1																						
28	22,9	34,9	38,2																						
2.2	19,14	23,77	56,83	0,26	-																				
3.2	17,4	23,77	56,83	0,26	1,74																				
1.1	19,2	23,83	56,97	-	-	t = 30 ± 2 °C	<p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, діб</p> <table border="1"> <caption>Міцність при стиску, МПа (t = 30 ± 2 °C)</caption> <thead> <tr> <th>Час</th> <th>1.1</th> <th>2.1</th> <th>3.1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>15,6</td> <td>23,4</td> <td>31,6</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>17,8</td> <td>27</td> <td>35,5</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>24,4</td> <td>35,3</td> <td>39,1</td> </tr> </tbody> </table>			Час	1.1	2.1	3.1	3	15,6	23,4	31,6	7	17,8	27	35,5	28	24,4	35,3	39,1
Час	1.1	2.1	3.1																						
3	15,6	23,4	31,6																						
7	17,8	27	35,5																						
28	24,4	35,3	39,1																						
2.1	19,14	23,77	56,83	0,26	-																				
3.1	17,4	23,77	56,83	0,26	1,74																				
1	19,2	23,83	56,97	-	-	t = 80 ± 2 °C	<p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, діб</p> <table border="1"> <caption>Міцність при стиску, МПа (t = 80 ± 2 °C)</caption> <thead> <tr> <th>Час</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>16,7</td> <td>28</td> <td>33,2</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>18,5</td> <td>32,4</td> <td>38,8</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>25,3</td> <td>35,7</td> <td>40,4</td> </tr> </tbody> </table>			Час	1	2	3	3	16,7	28	33,2	7	18,5	32,4	38,8	28	25,3	35,7	40,4
Час	1	2	3																						
3	16,7	28	33,2																						
7	18,5	32,4	38,8																						
28	25,3	35,7	40,4																						
2	19,14	23,77	56,83	0,26	-																				
3	17,4	23,77	56,83	0,26	1,74																				

## Література

1. Будівельне матеріалознавство / П. В. Кривенко., К. К. Пушкарьова, В. Б. Барановський та ін. – К. : ЕксОб, 2004. – 704 с. – ISBN 966-7769-35-6.
2. Влияние тепловлажностной обработки на эксплуатационные свойства бетона [Электронный ресурс] / С. В. Федосов, С. М. Бабанов, М. В. Акулова, М. В. Горопова // Изв. вузов. Строительство, 2003. – №7. С. 47-50. – Режим доступа к журн.: <http://old.sibstrin.ru/izv2003.html>. – ISBN 5-9296-0333-2.
3. Малинина Л. А. Тепловлажностная обработка бетона / Л. А. Малинина. – М.: Стройиздат, 1977. – 159 с.
4. Марьямов Н. Б. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона / Н. Б. Марьямов. – М.: Стройиздат, 1970. – 272 с.
5. Бутт Ю. М. Твердение вяжущих при повышенных температурах / Ю. М. Бутт, В. Н. Рашкович. – М.: Стройиздат, 1965. – 263 с.
6. Бужевич Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях / Г.А. Бужевич. – М.: Стройиздат, 1970. – 272 с.
7. Гувалов А. А. Новые добавки для беспропарочной технологии производства бетона / А. А. Гувалов, С. И. Аббасова // Технологии бетонов, 2014. – № 8 (97). – С. 39 – 41.
8. Pushkarova K. K. Research of high-strength cement compositions modified by complex organic-silica additives / K. K. Pushkarova, K. O. Kaverin, D. O. Kalantaevsky // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2015. – Vol. 5, Iss. 5 (77). – P. 42-51. doi: 10.15587/1729-4061.2015.51836.
9. Пушкарьова К.К. Особливості модифікації цементної матриці для отримання високоміцних легких керамзитобетонів бетонів / К.К. Пушкарьова, О.А. Гончар, К.О. Каверин // Зб. наук. праць «Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка». – Київ, 2014. – №52. – С. 43-48.
10. Пушкарьова К.К. Дослідження процесів структуроутворення цементних композицій, модифікованих органо-кремнеземистими добавками / К.К. Пушкарьова, К.О. Каверин, М.С. Дмитров // Вісник ОДАБА. – Одеса, Зовнішрекламсервіс, 2014. – №56. – С. 201-208.
11. Пушкарьова К.К. Вплив органо-мінеральних добавок на реологічні властивості цементних композицій та їхні фізико-механічні характеристики / К.К. Пушкарьова, О. А. Гончар, К.О. Каверин // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків, 2015. – №155. – С. 124-128.
12. Пушкарьова К.К. Дослідження впливу органо-кремнеземистих добавок на міцність цементних композицій / К.К. Пушкарьова, К.О. Каверин // Вісник ОДАБА. – Одеса, Зовнішрекламсервіс, 2015. – №57. – С. 371-379.
13. Пушкарьова К.К. Вплив комплексної органо-мінеральної добавки на фазовий склад цементних композицій та формування структури цементного каменю / К.К. Пушкарьова, К.О. Каверин, В.П. Яким // Вісник ОДАБА. – Одеса, Зовнішрекламсервіс, 2015. – №60. – С. 229-236.
14. Пушкарьова К.К. Дослідження сумісності дії складових органо-кремнеземистої добавки та їх вплив на процеси структуроутворення цементного каменю / К.К. Пушкарьова, К.О. Каверин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП. – 2015. – №31. – С.322-329.
15. Пушкарьова К.К. Дослідження експлуатаційних властивостей високоміцних легких керамзитобетонів, модифікованих комплексною органо-кремнеземистою добавкою / К.К. Пушкарьова, К.О. Каверин // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків, 2017. – №169. – С. 88-95.

Стаття надійшла 11.05.2018