

## ДЕКОРАТИВНИЙ КОНСТРУКЦІЙНИЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН НА ОБРОБЛЕНОМУ ЦЕМЕНТНОЮ СУСПЕНЗІЮ ГРАВІЇ

**Кровяков С.О.**, к.т.н., доцент,  
**Петричко С.М.**, к.т.н., доцент,  
**Дудник Л.В.**, аспірант,  
**Ткаченко Г.Г.**, к.т.н., доцент,  
*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
skrovyakov@ukr.net

**Анотація.** Досліджено механічні властивості та кольорова гама декоративних конструкційних керамзитобетонів. Застосовувалися залізоокисні синтетичні пігменти. Порівнювалися керамзитобетони, приготовані за традиційною технологією та за технологією з застосуванням обробки пористого гравію цементною суспензією. Встановлено, що при введенні пігменту міцність керамзитобетонів при стиску та на розтяг при згині практично не змінюється. За рахунок обробки пористого гравію цементною суспензією в середньому на 1 МПа підвищується міцність керамзитобетонів при стиску, а також дещо покращується насиченість кольору декоративних бетонів.

**Ключові слова:** керамзитобетон, пігмент, цементна суспензія, обробка гравію.

## ДЕКОРАТИВНЫЙ КОНСТРУКЦИОННЫЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН НА ОБРАБОТАННОМ ЦЕМЕНТНОЙ СУСПЕНЗИЕЙ ГРАВИИ

**Кровяков С.А.**, к.т.н., доцент,  
**Петричко С.Н.**, к.т.н., доцент,  
**Дудник Л.В.**, аспирант,  
**Ткаченко Г.Г.**, к.т.н., доцент,  
*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
skrovyakov@ukr.net

**Аннотация.** Исследованы механические свойства и цветовая гамма декоративных конструкционных керамзитобетонов. Применялись железоокисные синтетические пигменты. Сравнивались керамзитобетоны, приготовленные по традиционной технологии и по технологии с применением обработки пористого гравия цементной суспензией. Установлено, что при введении пигмента прочность керамзитобетонов при сжатии и на растяжение при изгибе практически не изменяется. За счет обработки пористого гравия цементной суспензией в среднем на 1 МПа повышается прочность керамзитобетонов при сжатии, а также несколько улучшается насыщенность цвета декоративных бетонов.

**Ключевые слова:** керамзитобетон, пигмент, цементная суспензия, обработка гравия.

## DECORATIVE CONSTRUCTIONAL EXPANDED CLAY LIGHTWEIGHT CONCRETE ON CEMENT SLURRY PROCESSING GRAVEL

**Kroviakov S.O.**, PhD., Assistant Professor,  
**Petrichko S.M.**, PhD., Assistant Professor,  
**Dudnik L.V.**, graduate student,  
**Tkachenko G.G.**, PhD., Assistant Professor,  
*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
skrovyakov@ukr.net

**Abstract.** Mechanical properties and color range of decorative expanded clay lightweight concrete were investigated. Red and yellow iron-oxide synthetic pigments were applied. Structural expanded clay lightweight concrete was manufactured using two technologies. The first series was manufactured using traditional technology; the second series was produced by the technology with the application of porous gravel treatment with cement slurry. The slurry was prepared by introducing 30% cement into water. The expanded clay gravel with a size of 5-10 mm. was used. It was found that the technology of preparation does not affect the water/cement mixture. The strength of decorative lightweight concrete changes little when using pigments. The compressive strength of expanded clay lightweight concrete is increased by an average of 1 MPa by treating the porous gravel with cement slurry. The density of lightweight concrete is also increased by 10-20 kg/m<sup>3</sup> when processing porous gravel. However, the processing with the cement slurry does not affect the tensile strength of the decorative expanded clay lightweight concrete.

The color range of decorative expanded clay lightweight concrete was analyzed using digital photos in the RGB color scheme. It was found that the amount of pigment significantly affects the color of concrete. Due to the processing of gravel with cement slurry, the saturation of the color of the decorative concrete slightly improves.

**Keywords:** expanded clay lightweight concrete, pigment, cement slurry, gravel processing.

**Вступ.** Конструкційні бетони на легких заповнювачах достатньо широко використовуються в сучасній світовій будівельній практиці, зокрема у цивільному, гідротехнічному і транспортному будівництві. Легкі бетони мають декілька істотних переваг, насамперед це зменшення маси конструкцій, що дозволяє знизити навантаження на фундаменти та одночасно збільшити довжину прольотів конструкцій, що працюють на згин; підвищення стійкості до динамічних навантажень та вогнестійкості, а також зменшення теплопровідності. При цьому в гідротехнічних і транспортних спорудах конструкції часто не оздоблюються, тобто важливими стають їх декоративні властивості. Таким чином, актуальними є дослідження можливостей підвищення якості конструкційних декоративних легких бетонів за рахунок удосконалення технології їх виробництва, зокрема при застосуванні обробки пористих заповнювачів. В умовах сировинної і виробничої бази України найбільш перспективними можна вважати декоративні керамзитобетони.

**Аналіз останніх досліджень.** Бетон на пористих заповнювачах був першим серед відомих людству гідротехнічних бетонів і використовувався ще у Римській імперії [1]. З легких бетонів виконувалися акведуки, стінки каналів і тунелів, водонапірні вузли ГЕС та інші елементи. Наприклад, лише за радянські часи на гідротехнічних спорудах Вірменії було застосовано більше 2 млн. м<sup>3</sup> легкого бетону [2]. Також успішно використовуються легкі бетони для прогонових мостових конструкцій [3]. Окремо слід виділити застосування легких бетонів у залізобетонному суднобудуванні. Для плавучих споруд зменшення маси є дуже важливим, оскільки це є одним із шляхів поліпшення їх структурної ефективності, яку умовно можна охарактеризувати через співвідношення міцності матеріалу до ваги. Спеціалістами зазначається, що співвідношення міцність/вага для легкого бетону є набагато ефективнішим саме при зануренні конструкції, тобто на плаву. Суднобудівний бетон на пористих заповнювачах також є одним з найбільш перспективних матеріалів для будівництва нетрадиційних плавучих і підводних споруд великих розмірів, призначених для освоєння ресурсів континуальних шельфів і світового океану в цілому [4]. Бетони на пористому керамічному заповнювачі все частіше використовуються для бетону при будівництві плавучих нафтових платформ [5, 6]. Вони показали високу довговічність в суворих умовах експлуатації у водах з сульфатами і хлоридами та при дії заморожування і відтаювання [7]. Військово-морські сили США починаючи з 1998 року використовують модульні залізобетонні плавучі пірси на основі легкого бетону. Розрахункова довговічність такого пірсу становить 100 років, що вдвічі більше за термін роботи аналогічних металевих споруд [8]. Частина конструкцій підводного тунелю Кінуга в Японії виконана з бетону на

пористому гравію щільністю  $1900 \text{ кг/м}^3$  і міцністю 30 МПа. Таке рішення було прийняте для підвищення тріщиностійкості залізобетонних конструкцій гідротехнічної споруди [9].

Як зазначалося вище, для частини конструкцій подібних споруд, зокрема плавучих, застосування декоративних бетонів є фактично єдиним методом підвищення їх естетичної привабливості. Наприклад, спеціалістами Одеської державної академії будівництва та архітектури розроблялися склади декоративних важких суднобудівних бетонів [10]. Відповідно, дослідження можливості отримання високоякісних декоративних конструкційних керамзитобетонів є актуальним. Для підвищення їх якості можна застосовувати рецептурні та технологічні прийоми, зокрема обробку крупного пористого заповнювача цементною суспензією, яка гарно показала себе при виготовленні бетонів на вапняковому щебені [11].

**Метою** роботи є покращення механічних і декоративних властивостей конструкційного керамзитобетону з залізоокисними пігментами за рахунок застосування технологічного прийому обробки пористого гравію цементною суспензією.

**Об'єкти і методи дослідження.** Дослідження властивостей декоративних конструкційних керамзитобетонів проводилися на двох паралельних серіях зразків.

Перша серія виготовлялася за традиційною для керамзитобетонів технологією. Тобто, у змішувач послідовно подавалося 70% від необхідної води і весь керамзитовий гравій. Далі, після приблизно 30 секунд перемішування, подавався цемент, пісок і решта води з розчищеною в ній добавкою-пластифікатором. Залізоокисні пігменти розмішувалися з цементом в сухому стані завчасно. Таким чином, пористий керамзитовий гравій насичувався лише водою, а загальна тривалість перемішування складала приблизно п'ять хвилин.

Друга серія виготовлялася з застосуванням технологічного прийому обробки пористого гравію цементною суспензією. Для цього у змішувач послідовно подавалося 90% від необхідної на заміс кількості води з розчиненими в ній 50% добавки-пластифікатору та 30% від необхідної кількості цементу, і ця суспензія перемішувалася приблизно одну хвилину. Далі у змішувач, де знаходилася суспензія, подавався керамзитовий гравій і перемішування продовжувалося ще одну хвилину. Після цього подавалася решта цементу, піску і решта води з розчищеною добавкою (теж 50%). В даному випадку залізоокисні пігменти розмішувалися завчасно з 70% цементу в сухому стані, тобто у суспензію пігмент не вводився. Таким чином, пористий керамзитовий гравій насичувався цементною суспензією, а загальна тривалість перемішування складала в середньому шість хвилин, тобто на хвилину довше, ніж для контрольної серії.

У кожній серії виготовлялося по п'ять партій зразків з різними видами та кількістю пігменту. Всі досліджені бетони мали рівну кількість портландцементу ( $500 \text{ кг/м}^3$ ) і керамзитового гравію ( $670 \text{ л/м}^3$ ). У всіх складах застосовувалася добавка суперпластифікатор С-3 в кількості 0.8% від маси цементу. Кількість піску корегувалася в залежності від застосування у складі пігменту (для забезпечення рівного об'єму). Один склад (одна партія зразків) у кожній серії був контрольним, тобто без пігменту. Склади №2 і №3 включали червоний пігмент, 10 і  $20 \text{ кг/м}^3$  відповідно, а склади №4 і №5 – жовтий пігмент, також відповідно 10 і  $20 \text{ кг/м}^3$ . Склади всіх досліджених керамзитобетонів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Склади досліджених конструкційних декоративних і контрольних керамзитобетонів

№ партії в кожній з серій	№1, контроль	№2, червоний	№3, червоний	№4, жовтий	№5, жовтий
Цемент	$500 \text{ кг/м}^3$				
Керамзит	$670 \text{ л/м}^3$				
Пісок	$665 \text{ кг/м}^3$	$655 \text{ кг/м}^3$	$645 \text{ кг/м}^3$	$653 \text{ кг/м}^3$	$641 \text{ кг/м}^3$
С-3	$4 \text{ кг/м}^3$				
Пігмент	-	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ $10 \text{ кг/м}^3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ $20 \text{ кг/м}^3$	$\text{FeO(OH)}$ $10 \text{ кг/м}^3$	$\text{FeO(OH)}$ $20 \text{ кг/м}^3$

В якості компонентів бетону використовувалися:

- сульфатостійкий портландцемент ССПЦ 400-Д0 виробництва ПАТ «Івано-Франківськцемент»;
- керамзит виробництва Одеського керамзитового заводу фракції 5-10 мм з насипною щільністю гравію  $660 \text{ кг/м}^3$ , який має марку за міцністю П125;
- митий кварцовий пісок (Вознесенський район Миколаївської області) з  $M_{кр}=2.4$ ;
- добавка суперпластифікатор С-3;
- неорганічні залізоокисні синтетичні пігменти торгової марки Bayferrox виробництва LanXESS (Німеччина):
  - червоний пігмент – IOX R03, основна речовина –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;
  - жовтий пігмент – IOX Y02, основна речовина –  $\text{FeO}(\text{OH})$ .

**Результати досліджень.** Всі суміші мали рівну рухомість П2 (ОК від 4 до 6 см), що досягалося підбором кількості води. Значення В/Ц для п'яти досліджених в кожній із серій складів, а також значення інших фізико-механічних властивостей цих конструкційних декоративних і контрольних керамзитобетонів наведено у таблиці 2.

Можна зробити висновок, що технологія приготування (традиційна або з обробкою гравію цементною суспензією) не впливає на водопотребу і відповідно В/Ц керамзитобетонної суміші. По окремих складах різниця у значеннях В/Ц між серіями не перевищує 2%. Проте введення пігменту природно викликає необхідність незначного (на 2-6%) підвищення В/Ц суміші через додаткову водопотребу цього компоненту, що є відомим у бетонознавстві ефектом.

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості досліджених конструкційних декоративних і контрольних керамзитобетонів

Показник	склад №1	склад №2	склад №3	склад №4	склад №5
В/Ц	0,347 / 0,354	0,368 / 0,358	0,367 / 0,360	0,354 / 0,358	0,366 / 0,366
Міцність при стиску, МПа	31,3 / 31,9	31,6 / 32,1	27,9 / 28,5	32,1 / 33,6	29,4 / 31,3
Міцність на розтяг при згині, МПа	6,14 / 6,11	5,94 / 6,14	6,07 / 6,13	6,31 / 6,36	6,13 / 6,17
Щільність при рівноважній вологості, $\text{кг/м}^3$	1790 / 1810	1770 / 1785	1770 / 1780	1770 / 1780	1770 / 1780

\* – у чисельнику значення показника при приготуванні суміші за традиційною технологією, у знаменнику – при застосуванні обробки пористого гравію цементною суспензією

Аналіз міцності досліджених керамзитобетонів при стиску показав, що при введенні як червоного, так і жовтого залізоокисного пігменту у кількості  $10 \text{ кг/м}^3$ , цей показник практично не змінюється і може навіть несуттєво, на 2-5%, зростати попри підвищення В/Ц. При введенні більшої кількості пігменту ( $20 \text{ кг/м}^3$ ) міцність при стиску декоративних керамзитобетонів в середньому на 8% нижче за міцність контрольних складів.

За рахунок обробки пористого гравію цементною суспензією міцність досліджених конструктивних декоративних і контрольних керамзитобетонів зростала в середньому на 1 МПа. По окремих складах це зростання було в межах від 2 до 6%, тобто було несуттєвим. Це можна пояснити тим, що в даних дослідженнях використовувався гравій фракції 5-10 мм, тобто доволі дрібний. Відомо, що по мірі зменшення розміру (фракції) відносно маломіцного заповнювача вплив його міцності на міцність бетону на цьому пористому заповнювачі знижується [12]. Відповідно процедура попередньої обробки керамзитового гравію цементною суспензією, яка підвищує його міцність, не досить суттєво впливає на міцність композиту в цілому, хоч позитивна тенденція і спостерігається для всіх складів.

Міцність на розтяг при згині досліджених декоративних керамзитобетонів практично не відрізнялася від міцності контрольних складів, а для бетонів з вмістом  $10 \text{ кг/м}^3 \text{ FeO(OH)}$  (жовтого пігменту) була навіть на 3-4% вищою. Такий ефект пояснюється тим, що, по-перше, В/Ц суміші мало впливає на величину міцності на розтяг, а по-друге, властивістю пігментів частково виконувати роль мікронаповнювача [13].

Аналіз впливу пігментів і технології виготовлення на щільність досліджених матеріалів показав, що середня щільність декоративних керамзитобетонів на  $20\text{-}30 \text{ кг/м}^3$  нижча за щільність аналогічних контрольних складів, що пояснюється різним В/Ц сумішей. Матеріали на обробленому суспензією гравії мають на  $10\text{-}20 \text{ кг/м}^3$  більшу щільність завдяки насиченню контактної зони керамзиту цементом.

Кольорова гама досліджених декоративних керамзитобетонів аналізувалася наступним чином. Зразки-куби фотографувалися при однаковому освітленні. Далі на цифровій фотографії відокремлювалася область верхньої безпосередньо при фотографуванні грані зразка. У даній області проводилося усереднення кольору завдяки застосуванню фільтру «average» програми Photoshop. Для цього усередненого кольору визначалося його значення за схемами RGB та CMYK. Для кожного складу аналізувалося по шість зразків, після чого вираховувалися середні значення показників кольору. Така методика дозволяла уникнути суб'єктивності при аналізі декоративних властивостей бетону.

Можна відмітити, що обидві схеми (RGB і CMYK) є пов'язаними та не є ідеальними для аналізу кольорової гами бетону, тому що передбачають наявність відповідно чорного або білого фону. При використанні у якості в'язучого білого цементу схему CMYK можна вважати більш зручною. Проте при використанні сірого цементу фон має приблизно рівномірне забарвлення всіма основними кольорами схеми, відповідно методично вірніше буде порівнювати інтенсивність необхідного кольору з іншими, а точніше з сумою R+G+B. Показники кольорів у схемі RGB досліджених керамзитобетонів наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Показники кольорів досліджених конструкційних декоративних і контрольних керамзитобетонів у схемі RGB

Показник	№1, контроль	№2, $\text{Fe}_2\text{O}_3$ $10 \text{ кг/м}^3$	№3, $\text{Fe}_2\text{O}_3$ $20 \text{ кг/м}^3$	№4, $\text{FeO(OH)}$ $10 \text{ кг/м}^3$	№5, $\text{FeO(OH)}$ $20 \text{ кг/м}^3$
Red	200 / 199	207 / 209	199 / 207	205 / 206	211 / 211
Green	207 / 209	181 / 176	156 / 155	196 / 200	198 / 200
Blue	198 / 194	171 / 164	143 / 148	176 / 176	168 / 161

\* – у чисельнику значення показника при приготуванні суміші за традиційною технологією, у знаменнику – при застосуванні обробки пористого гравію цементною суспензією

Аналіз отриманих даних дозволяє сказати, що по мірі зростання кількості червоного залізоокисного пігменту ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) у бетоні, відсоток складової Red у сумі трьох складових кольорів схеми (R+G+B) зростає. Якщо у контрольних бетонах він був на рівні 33,1%, то для складу №2 це вже 37,0 і 38,1% відповідно для традиційної технології та технології з обробкою гравію цементною суспензією, а для складу №3 – 40,0 і 40,6%. Жовтий колір у схемі RGB є сумою червоної і зеленої складової за умови що  $R \approx G$ . При введенні  $10 \text{ кг/м}^3$  жовтого пігменту, тобто для складу №4, відсоток Red+Green у сумі R+G+B дорівнює 69,5 і 69,8%, а при введенні  $20 \text{ кг/м}^3$  жовтого пігменту (склад №5) – 70,8 і 71,9% відповідно для традиційної технології та технології з обробкою гравію цементною суспензією.

Тобто, при підвищенні кількості пігменту насиченість декоративного бетону відповідним кольором прогнозуємо зростає. Також важливим технологічним ефектом можна вважати факт декілька кращих показників кольору при використанні технології з обробки пористого гравію цементною суспензією. Це можна пояснити декілька більшим вмістом пігменту саме у розчинній частині керамзитобетону, тому що насичення гравію проводилося суспензією без пігменту. При традиційній же технології частина пігменту залишається в контактній зоні заповнювача. Крім того додатковий, хоч і не суттєвий, вплив на колір оказує

те, що при традиційній технології заповнювач насичується переважно водою, відповідно у контактній зоні концентрація цементу є меншою, а у розчині – більшою в порівнянні з технологією з обробкою пористого гравію цементною суспензією.

Проте справедливо відмітити, що означені переваги технології з застосуванням обробки пористого гравію цементною суспензією будуть зберігатися переважно саме для конструкційних керамзитобетонів, в яких витрати цементу знаходяться на досить високих рівнях. Відповідно, міцність таких композитів обмежена переважно міцністю пористого гравію, як «найслабшого» компоненту. Для низькоміцних керамзитобетонів з малою витратою в'язучого ефективність запропонованої технології буде нижче.

**Висновки.** Міцність декоративних конструкційних керамзитобетонів з залізоокисними пігментами практично не відрізняється від міцності контрольних бетонів аналогічних складів. За рахунок технологічного прийому обробки пористого гравію цементною суспензією міцність при стиску досліджених керамзитобетонів зростала в середньому на 1 МПа, а також декілька покращувалась насиченість кольору декоративних бетонів, яка аналізувалася за цифровими фото. При цьому обробка не вплинула на величину В/Ц сумішей рівної рухомості та на міцність керамзитобетонів на розтяг при згині.

### Література

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. Спб.: Строй-Бетон, 2006. 692 с.
2. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов. М.: Стройиздат, 1973. 584 с.
3. Tommy Cousins, Carin Roberts-Wollmann, Michael C. Brown. High-Performance/High-Strength lightweight concrete for bridge girders and decks. National cooperative highway research program. Report 733. Washington, D.C.: Transportation research board, 2013. 82 p.
4. Носков Б.Д., Правдивец Ю.П. Сооружения континентального шельфа. Гидросооружения водных путей, портов и континентального шельфа. М.: Изд-во АСВ, 2004. 280 с.
5. Harmon K.S. Recent research projects to investigate mechanical properties of high-performance lightweight concrete // Theodore Bremner Symposium on High Performance Lightweight Concrete. Thessalonika, Greece: 2003. P. 131-150
6. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Конструкционные легкие бетоны для нефтедобывающих платформ в северных приливных морях и морях Дальнего Востока // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2015. № 2 (23). С. 85-99
7. Benchmarking of deemed-to-satisfy provisions in standards: Durability of reinforced concrete structures exposed to chlorides. State-of-the-art report – fib:2015. 191 p.
8. New technologies proven in precast concrete modular floating pier for U.S. Navy / [M.W. LaNier, M. Wernli, R. Easley, P. S. Springston]. PCI journal, 2005, July-August, Vol.50. Iss. 4. P. 76-99.
9. Lightweight aggregate concrete. Recommended extensions to model code 90. Identification of research needs. Case studies – Fib bulletin 8, may 2000. 362 p.
10. Петричко С.Н., Мишутин А.В. Состав и свойства декоративных судостроительных бетонов // Вісник ОДАБА. Вип. 48. Частина 2. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2012. С. 37-42.
11. Кровяков С.О., Мишутін А.В., Полторапавлов А.О. Механічні властивості бетону на обробленому цементною суспензією карбонатному щебені // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. №64. Одеса: Атлант, 2016. С.147-152.
12. Ицкович С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона. М.: Высшая школа, 1991. 272 с.
13. Петричко С.Н. Прочностные характеристики декоративных судостроительных бетонов // Вісник ОДАБА, Вип. 44. Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2011. С. 258-263.

Стаття надійшла 3.04.2017