

**УДК 691.32**

**СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ  
ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**MODERN MATERIALS FOR REINFORCING OF  
FERROCONCRETE FLEXURAL ELEMENTS**

**Валовой О.І., к.т.н., проф.** (ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг), **Попруга Д.В., к.т.н., доц.** (ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг)

**Валовой А.И., к.т.н., проф.** (ГВЗУ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог), **Попруга Д.В., к.т.н., доц.** (ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог)

**Valovoi O.I., D.Eng., professor** (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih), **Popruga D.V., D.Eng., associate professor** (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih)

**В статті наводяться результати випробування фізико-механічних характеристик зразків бетонних кубів та призм, виготовлених з бетону на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів.**

**В статье приводятся результаты испытания физико-механических характеристик образцов бетонных кубов и призм, изготовленных из бетона на отходах горно-обогатительных комбинатов.**

**In clause results of tests of physicommechanical characteristics of sample of concrete cubes and the prisms made of concrete on waste are resulted is mountain concentrating combines.**

**Ключові слова:**

Бетон, міцність, деформація, клей.

Бетон, прочность, деформация, клей.

Concrete, durability, deformation, glue.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями**

Значна частка будівель і споруд в Україні збудовані із залізобетонних конструкцій. Вони експлуатуються багато років, частина з них мають

дефекти і пошкодження, інші перевантажені внаслідок збільшення проти нормативних тимчасових та постійних навантажень. Замінити ці конструкції часто економічно недоцільно. Одним з найбільш ефективних способів продовження експлуатації залізобетонних конструкцій є їх підсилення нарощуванням стиснутої зони, застосовуючи при цьому високоміцні та економічні матеріали.

Сучасний ремонт і реконструкція будівель і споруд вимагають скорочення термінів виконання робіт, що залежать багато в чому від підвищення продуктивності праці. Велике значення при цьому мають економія матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів у будівництві.

Вирішення цих проблем полягає у використанні як дрібного заповнювача для бетону відходів збагачення залізних руд, так званої "пульпи". Відходи збагачення являють собою штучний кварцово-залізистий пісок, що виходить у результаті дроблення, здрібнювання й магнітного збагачення залізистих кварцитів. За складом й фізико-механічними властивостями ці відходи придатні для широкого використання у виробництві будівельних конструкцій [1,2].

Найбільш перспективним і вигідним, з забезпечення безвідходного використання нерудної попутної сировини для виготовлення бетонних і залізобетонних конструкцій. Цей напрямок важливий ще й тому, що в багатьох областях України сьогодні відчувається гострий дефіцит як у кварцовому піску, так і в гранітному щебені, а виробництво будівельних конструкцій неухильно зростає.

В 80-х роках минулого століття науково-дослідними інститутами, вузами й будівельними організаціями було проведено всебічне вивчення властивостей бетонів, виготовлених з відходів підприємств гірничорудної промисловості. Такі ж дослідження проводилися на будівельному факультеті ДВНЗ "Криворізький національний університет". Результати цих досліджень дозволили зробити висновки про те, що при використанні цих відходів можна створювати бетони із заданими характеристиками: середньою щільністю, міцністю, деформативністю, водонепроникністю, стиратністю та іншими важливими в експлуатації будівельних конструкцій властивостями. Було встановлено, що міцність бетону на дрібному заповнювачі з відходів ГЗК на 13-22 % вище міцності бетону на гірському або річковому кварцовому піску. Це пояснюється великою шорсткістю зерен відходів та їхньою підвищеною міцністю.

Набір міцності бетонів на відходах відбувається швидше, ніж у традиційних цементних сумішах. Це дозволяє вводити в експлуатацію будівельні конструкції в більше ранній термін після бетонування.

До переваг бетонів на відходах ГЗК у порівнянні зі звичайними бетонами відносяться також знижена усадка (на 40 % менше) і повзучість (зниження до 50 %). Ці характеристики досить істотні, тому що в процесі тривалої експлуатації усадка знижує тріщиностійкість матеріалу, а повзучість

збільшує деформації конструкцій: прогини, відхилення від вертикалі, зміни форми. Є усі підстави прогнозувати і ефективність використання відходів ГЗК і при підсиленні залізобетонних конструкцій.

Основною причиною, що гальмує широке впровадження відходів при підсиленні залізобетонних конструкцій, є недостатня кількість досліджень. У той же час використання відходів ГЗК у виробництві бетону для підсилення залізобетонних конструкцій має велике техніко-економічне значення.

Підсилення нарощуванням стиснутої зони елементів проводять укладенням додаткового шару бетону. При цьому повинно бути забезпечено надійне зчеплення “старого” бетону з “новим” бетоном підсилюваних елементів. Найбільш ефективним і перспективним способом їх зчеплення є використання високоміцних клеїв.

Однак особливості роботи з’єднань бетонних і залізобетонних елементів до цього часу недостатньо вивчені. Подальшому використанню клеїв перешкоджає недостатні дослідження питань міцності, надійності й довговічності клейових з’єднань бетонних і залізобетонних конструкцій.

#### **Аналіз досліджень та публікацій**

Дослідженням особливостей роботи залізобетонних конструкцій, виготовлених з бетону на дрібних заповнювачах - відходах ГЗК займалися Г.Н.Бондаренко, А.И. Валовой, Г.Т.Стороженко, Б.Н.Шевченко та інші.

Зазначеними авторами були проведені дослідження складу й властивостей відходів гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу. Проведені дослідження довели можливість використання як дрібного заповнювача збагачених відходів ГЗК для виготовлення бетонних і залізобетонних конструкцій.

Застосуванню клеїв у бетонних і залізобетонних конструкціях присвячені роботи Е.П.Александряна, Р.І. Бергена, В.А. Лисенка, М.С.Золотова, Г.А. Молодченка, О.Л.Шагіна, В.З.Клименка та ін.

#### **Постановка завдання**

Перед авторами була поставлена задача дослідження міцнісних та деформативних властивостей кубів і призм, виготовлених з бетону на відходах збагачення залізних руд. Була також досліджена міцність з’єднання кубів за допомогою клею.

Зазначені випробування були виконані у рамках широких досліджень зразків-балок, підсиленних бетоном на відходах ГЗК [3].

#### **Викладення матеріалу та результати**

Для визначення міцнісних характеристик основного бетону експериментальних балок, а також бетону підсилення були виготовлені дослідні зразки кубів розмірами 100×100×100 мм, 150×150×150 мм і дослідні зразки призм розмірами 100×100×400 мм. Кількість дослідних зразків кубів і призм складала по 12 шт. для кожного виду бетону.

Зразки виготовлені з бетону на відходах збагачення залізних руд, для якого використали шлакопортландцемент М400 Криворізького цементного

заводу, пісок з відходів збагачення мокрої магнітної сепарації залізистих кварцитів ВАТ Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату з модулем крупності  $M_k - 2,0$  і щебеню сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів ВАТ “Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату” крупністю 5-20 мм.

Для вимірювання повздовжніх деформацій бетону використовували індикатори годинникового типу на базі 150 мм, які встановлювали по осі в призмах з двох боків. Кубикова та призмове міцність бетону, а також модуль пружності були визначені у відповідності до ДСТУ [6]. Випробування зразків основного бетону та бетону підсилення виконували у відповідності до вимог чинних норм [7,8] у віці 7, 14, 28 діб з моменту їх виготовлення і у віці безпосередньо перед випробуваннями основних зразків балок, тобто у віці 97 та 365 діб (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд випробуваних кубів та призм

Узагальнені середні результати випробувань фізико-механічних характеристик зразків основного бетону та бетону підсилення наведені у табл. 1.

Для визначення міцності з'єднання кубів використовували клей *Cerino1 ZH*. Це – модифікований синтетичними речовинами матеріал на основі цементу, призначений для виконання сполучного шару на елементах будівельних конструкцій, які піддаються високим навантаженням.

Були виготовлені три балочних елемента складених з трьох кубиків 100x100x100 мм. Кубики з відходів ГЗК з'єднували за допомогою клею, який втирали за допомогою щітки на підготовлену бетонну поверхню. Виготовлення та нанесення клею проводили у відповідності до технічної документації виробника. Кубики з яких склалися балочні елементи були виготовлені з бетону класу В 25. Випробування проводили у віці 1 доба, 2 доби та на 28 добу. Отримані значення показують, що клей набирає міцність

в перші дві доби, а характер руйнування зразків по бетону свідчить про підвищену міцність клеєного з'єднання [4].

Таблиця 4

Вплив добавки і температури повітря на життєздатність і розвиток міцності бетонів

п/п	Вид бетону	Проектний клас бетону	Кубикова міцність, R, МПа										Призмova міцність, R <sub>b</sub> , МПа						Початковий модуль пружності, E <sub>b</sub> · 10 <sup>-5</sup>						Граничні деформації при стиску, ε <sub>R</sub> · 10 <sup>-5</sup>	
			Вік зразків, дів																							
			7	14	28	97	365	7	14	28	97	365	7	14	28	97	365	97	365							
1	Основний бетон	В-20	14,63	19,84	24,73	27,62	-	11,22	15,22	18,97	21,18	-	0,26	0,28	0,33	0,35	-	210	-							
2	Бетон підсилення	В-25	16,73	22,69	28,28	-	29,63	12,83	17,40	21,69	-	22,81	0,27	0,29	0,35	-	0,36	-	186							

Дослідженню також підлягали особливості пружнопластичного деформування й руйнування при статичному й короткочасному циклічному навантаженні бетонів на відходах ГЗК. Відповідно до програми дослідження були виготовлені дві серії зразків кубів і призм. Зразки були випробувані східчастим навантаженням (у режимі м'якого навантаження при заданій амплітуді). Склад бетону проектного класу для обох серій - В40. Дрібним заповнювачем слугували відходи Новокриворізького гірничо-збагачувального комбінату, пластифікаційною добавкою слугував розчин сульфатоспиртової барди ССБ у кількості від маси цементу 0,1% для першої серії й 0,23% для другої.

З табл. 2 видно, що використовуваний бетон має підвищений модуль пружності й досить низьке значення максимальних деформацій стиску, що характерно взагалі для бетонів на відходах ГЗК.

Таблиця 2

## Міцнісні та деформативні властивості використаних бетонів

Номер серії	Кубикова міцність, R, МПа	Призмova міцність, R <sub>b</sub> , МПа	K= R <sub>b</sub> /R	Початковий модуль пружності, E <sub>b</sub> · 10 <sup>-5</sup>	Граничні деформації при стиску, ε <sub>R</sub> · 10 <sup>-5</sup>
I	38	25,3	0,68	0,39	114
II	42	33,0	0,80	0,40	140

Як видно з табл. 2, міцнісні й деформативні характеристики бетону II серії відрізнялися від таких для серії I. Характерно, що одночасно зі збільшенням міцності й граничної стискальності бетону за рахунок збільшення кількості ССБ і зменшення В/Ц у складі бетону початковий модуль пружності практично не змінюється. У зазначеному складі бетону його фізико-механічні характеристики наближаються до властивостей важкого бетону на кварцовому піску. Ця обставина повинна враховуватися при проектуванні залізобетонних конструкцій з бетонів на дрібних заповнювачах з відходів збагачення залізних руд.

При випробуванні призм серії I на рівні навантаження більш ніж 0,77 від руйнуючого була відзначена малоциклова втома бетону.

Дослідження призм серії II показали, що при низьких рівнях циклічних навантажень визначена міцність може підвищуватися до 6-7%, а при середніх - практично не змінюється.

Аналіз випробувань призм показав, що при високому рівні навантаження граничні деформації бетону ε<sub>R</sub> збільшуються зі зменшенням навантаження й збільшенням кількості циклів. При цьому збільшення граничних деформація бетону ε<sub>R</sub> відбувається в діапазоні навантажень, що приводять до малоциклової втоми бетону. Починаючи з деякого рівня навантаження, значення граничних деформацій стабілізуються, а потім при η=0,75 - зменшуються [5].

### Висновки

Підводячи підсумки дослідженням основних фізико-механічних характеристик бетонів на відходах ГЗК, можна відзначити, що у відношенні міцнісних і деформативних властивостей, зазначені бетони не уступають, а по деяких параметрах і перевершують традиційні бетони на кварцовому піску.

Клей, який використовували у дослідженні, набирає проектну міцність уже в першу добу і якщо враховувати, що набір міцності бетону на відходах

відбувається швидше ніж у традиційних цементних сумішах, то слід вважати, що таке сполучення матеріалів є досить ефективним для використання його при підсиленні залізобетонних конструкцій.

**1.** Бондаренко Г.Н. Обычные и высокопрочные бетоны на заполнителях из отходов ГОК. – Бетон и железобетон, 1975, №3, с. 6-8. **2.** Василькова Г.А., Стороженко Г.Т. Бетони на основі відходів гірничо-збагачувальних комбінатів. – Буд. матеріали і конструкції, 1970, №6, с. 8-9. **3.** Попруга Д.В. Міцність стикових з'єднань при підсиленні залізобетонних згинальних елементів у стиснутій зоні. Автореф. дис. на здобут. вч. ступ. канд. техн. наук. Київ: КНУБА, 2009. – 20 с. **4.** Попруга Д. В. Ефективні матеріали для підсилення залізобетонних конструкцій / М. А. Валовой, Д. В. Попруга // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. – Вип. 17. – Рівне : НУВГП , 2008. – С. 7–13. **5.** Валовой А.И. Влияние кратковременных переменных нагрузок на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных элементов из бетонов на отходах обогащения железных руд. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Киев: КИСИ, 1980. – 20 с. **6.** ДСТУ БА.1.1.-49-94. Методи фізико-механічних досліджень будівельних матеріалів. Терміни та визначення. – Введ.01.01.95. **7.** ГОСТ 10180 – 90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Взамен ГОСТ 10180 – 78; Введ.01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990 – 45с. **8.** ГОСТ 24452 – 80, ГОСТ 24544 – 81, ГОСТ 24545 – 81. Бетоны. Методы испытаний. – Введ.01.0182. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 55с.