

## Характеризація складу рециркульованих заповнювачів на основі відходів руйнувань бетонних споруд внаслідок ведення бойових дій

Ковальчук Олександр, канд. техн. наук, с.н.с.,<sup>1,2</sup> (ORCID: 0000-0001-6337-0488)  
Владислав Вихор, аспірант<sup>1</sup> (ORCID: 0009-0001-6480-0061)

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, 03037, пр-т Повітряних Сил, 31, Київ, Україна

<sup>2</sup> Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів, 03037, пр-т Повітряних Сил, 31, Київ, Україна

### АНОТАЦІЯ

Наведено результати дослідження і характеристики рециркульованих заповнювачів на основі перероблених бетонних конструкцій, що було зруйновано внаслідок збройної агресії російської федерації. Показано відмінності компонентного складу заповнювача від традиційних, чистих аналогів, а також показано наявність забруднювачів- залишків органічних речовин та продуктів горіння, що негативно впливає на процеси структуроутворення цементів та бетонів на їх основі.

*Ключові слова:* будівельні конструкції, бетон, рециркульований заповнювач, характеристика, руйнування

### 1. ВСТУП

Будівельна галузь є достатньо динамічним організмом, що має цікаве поєднання значної реакційності у використаних матеріалах і підходах до виконання робіт і, водночас, одним із найбільших споживачів досягнень суспільства і розвитку економіки, а також драйвером розвитку економіки, забезпечуючи роботою мультиплікаційну кількість працівників суміжних галузей.

В умовах активного ведення бойових дій будівельна галузь є однією із найбільш вразливих негативному впливу, оскільки, окрім безпосередніх руйнувань будівель, споруд та інфраструктурних об'єктів, також гостро відчуває брак паливно-мастильних матеріалів та електроенергії, і також у значній мірою підлягає впливу негативних настроїв у суспільстві, пов'язаних із значними ризиками руйнувань будівель і споруд та обгрунтованою відмовою представників суспільства до інвестицій у покращення та розвиток своїх житлових умов та нерухомого майна.

Водночас, будівельна галузь є надзвичайно важливим сегментом існування воєнного суспільства, сприяючи оперативному відновленню об'єктів інфраструктури, але також і буде одним із вирішальних рушіїв повоєнного відновлення вцілому. Тому однією із основних задач наукового крила галузі є підготовка актуальних проєктів, що можуть бути негайно застосовані для повоєнного відновлення, одночасно вирішуючи і інші задачі, в тому числі, екологічні задачі утилізації відходів ведення бойових дій.

### 2. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Основною відмінністю поставленого завдання від аналогічних робіт, що виконуються закордонними дослідниками, полягає в тому, що всі вони спрямовані на дослідження властивостей абсолютно чистого рециркульованого заповнювача, тобто такого, що утворений як продукт ретельно відібраного і класифікованого відходу утилізації залізобетонних та бетонних конструкцій. Такий матеріал міститиме мінімальну кількість забруднювачів, характеризуватиметься достатньо стабільним складом та структурою та відповідатиме усім нормам, в тому числі щодо наявності органічних речовин. У нашому ж випадку,

ми маємо справу із продуктом руйнування внаслідок ведення бойових дій, який важко класифікувати, розібрати по компонентному складу і утилізувати кожен вид матеріалів окремо. Крім того, у нашому випадку є достатньо висока ймовірність забруднення матеріалу не тільки органічними залишками, як то деревина, пластик, залишки органічних структур, що відносяться до продуктів життєдіяльності людини і домашніх тварин, але й імовірною наявністю продуктів горіння внаслідок ведення бойових дій як причини руйнування. Тому такі матеріали потребують більш ретельної характеристики і спеціальних досліджень при проєктуванні компонентного складу бетонної суміші на їх основі.

### 3. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Дослідження властивостей вторинного заповнювача на основі передроблених українських бетонних і залізобетонних конструкцій виконували на основі комерційного продукту, наданого переробним комплексом, розташованим на території будівельно-виробничого комплексу на Теличці у Києві. Комплекс займається професійною переробкою будівельних конструкцій київського регіону. Основним напрямком використання продукції переробного комплексу є використання вторинного заповнювача як підсипки для дорожніх основ, що вимагає значно нижчих показників готового продукту, а також не містить специфічних вимог щодо наявності органічних речовин, вмісту невипалених вуглецевих частинок, продуктів горіння, тощо. У нашому ж випадку, є необхідність ретельного дослідження характеристик продукту і визначення його принципіальної придатності до використання як заповнювача у важких бетонах загальнобудівельного призначення.

На початковому етапі досліджень проводили класифікацію наданого продукту на предмет встановлення його фракційності. Дослідження проводили шляхом розсіву на стандартному наборі сит для встановлення відповідності заповнювача фракції 5-20 мм.

Встановлено, що вміст фракції більше 20 мм становить 15%, при чому фракція 40-70 мм становить 8% і являє собою нероздроблені шматки бетону. Водночас фракція 20-40 представлена переважно зернами слабких порід, в першу чергу, залишками нероздробленої цегли із числа

забруднювачів. Також встановлено, що вміст зерен менше 5 мм становить 22%, в тому числі вміст фракції 0-2 мм становить 11% за масою матеріалу. Такий високий вміст пилоподібних матеріалів може мати значний негативний вплив на реологічні характеристики бетонної суміші на основі таких заповнювачів.

Характеризація вторинного заповнювача за показником вмісту зерен слабких порід та сторонніх матеріалів засвідчила, що вміст зерен слабких порід становить 14% за масою. Такі зерна представлені переважно залишками включень цегли різної фракційності, а також незначним вмістом залишків органічного походження, представлених залишками деревини та пластмас.

Найбільший вміст зерен слабких порід є характерним для фракції 10-40 мм, в той час як у фракції 2-10 мм вміст зерен керамічного походження є мінімальним.

Також варто відзначити, що зерна бетонного рециркульованого заповнювача характеризуються переважно окатаною формою зерен на відміну від традиційного гранітного заповнювача, що також неодмінно вплине на фізико-механічні показники бетонів на основі такого заповнювача у негативну сторону.

Перевірку властивостей рециркульованого заповнювача до придатності до використання у якості заповнювача для бетонних сумішей і бетонів на їх основі виконували шляхом порівняння властивостей бетону на основі рециркульованого заповнювача із показниками контрольного складу бетону на основі кондиційних заповнювачів. Критеріями порівняння були водоцементне відношення, початкова та марочна міцність бетону при стиску, а також показники середньої густини.

Встановлено, що використання рециркульованого заповнювача підвищує водопотребу бетонної суміші на 20%. Водночас, додаткове відсіювання пиловидної фракції заповнювача призводить до значного зниження водопотреби, яка в такому випадку є вищою за показник контрольного складу лише на 4% за масою.

Дослідження фізико-механічних властивостей бетонів проводили з використанням бетонних сумішей із рухливістю Р3ю Показано, що використання нефракціонованого рециркульованого заповнювача знижує міцність бетону при стиску у віці 1 доби у 4 рази (2 МПа проти 8 МПа для контрольного складу). Відсіювання ж пиловидної фракції зі складу заповнювача призводить до отримання початкової міцності на рівні 6 МПа, або до втрати 25% міцності порівняно із контрольним складом.

У віці 7 діб міцність бетону на основі некласифікованого заповнювача становить 11 МПа порівняно із 17 МПа для бетону на основі просіяного класифікованого заповнювача і з 21 МПа на основі класичного заповнювача.

У марочному віці міцність бетону на основі некласифікованого заповнювача становить 14 МПа, вдвічі поступаючись показникам бетону на основі просіяного рециркульованого заповнювача (28 МПа) і ще більше – показникам контрольного складу (32 МПа).

Достатньо близькі показники міцності контрольного складу і складу на основі просіяного рециркульованого заповнювача, незважаючи на недосконалість фізичної форми і структури рециркульованого заповнювача, можна пояснити активним залученням залишків тонких фракцій у складі такого заповнювача до процесів структуроутворення бетонної суміші і бетону на її основі, забезпечуючи, таким чином, формування значною мірою безперервної

фракційності заповнювача і покращуючи мезоструктуру бетону.

Водночас, можна відзначити значний негативний вплив форми зерен і наявності пиловидних фракцій на початкових етапах тверднення, що вимагатиме проведення додаткових робіт з оптимізації композиційного складу бетонної суміші і введення додаткових матеріалів, що сприятимуть ранньому набору міцності і формуванню покращеної мезоструктури матеріалу вже на початкових етапах тверднення.

#### 4. ВИСНОВКИ

Отримані результати досліджень засвідчили, що компонентний склад рециркульованих бетонних заповнювачів суттєво відрізняється від аналогів, що досліджується закордонними дослідниками. Основна відмінність полягає у значній забрудненості заповнювача представниками інеродних матеріалів, зерен слабких порід, а також залишками органічних речовин та продуктів горіння, що обумовлено походженням самого вихідного матеріалу як продукту ведення бойових дій і руйнування. Тому, використання таких заповнювачів для виробництва бетонних сумішей і бетонів на їх основі потребуватиме додаткових досліджень і застосування більш ретельної процедури підбору складу.

#### Повідомлення

Робота виконана у рамках виконання досліджень за темою «Розробка ресурсоефективних бетонних сумішей та бетонів на основі рециркульованих бетонних конструкцій» за замовленням МОН України за кошти загального фонду державного бюджету України (Номер державної реєстрації 0124U001128).

#### Список літератури

- [1] Troian V., Gots V., Keita E., Roussel N., Angst U., Flatt R. Challenges in material recycling for postwar reconstruction. *Rilem technical letters*, (2022), 7, 139-149
- [2] Грамович М. Україна готується виробляти будівельні матеріали з перероблених будівельних відходів. *UAPortal* (2023)
- [3] Ferronato, N., Fuentes Sirpa, R. C., Guisbert Lizarazu, E. G., Conti, F., & Torretta, V. (2023). Construction and demolition waste recycling in developing cities: management and cost analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(9), 24377-24397.
- [4] Krivenko P., Kovalchuk O., Boiko O. Practical experience of construction of concrete pavement using non-conditional aggregates. *IOP-Confer. Series: Material Science and Engineering*, 708 (2019) 012089. DOI:10.1088/1757-899X/708/1/012089.
- [5] Boiko O., Zozulynets V., Ivanychko V., Kovalchuk O. Alkali activated concretes mix design using red mud as an active aggregate. *Technology audit and production reserves. Chemical and Technological systems*, №5/3 (49), 2019, pp. 15-21. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.184253