

УДК 691.322

ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОДУКТІВ РЕЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ

Автор – Смирнов А. С., аспір.,

Наукові керівники – Савицький М. В., докт. техн. наук, проф.,

Нікіфорова Т. Д., докт. техн. наук, проф.,

Титюк А. О., канд. техн. наук, доц.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

Постановка проблеми. У найближчому майбутньому Україна зіткнеться з наступними проблемами: фізичне зношення будівель і споруд як в промисловому, так і в житлово-цивільному секторах; відновлення зруйнованих війною міст на Сході країни; зростання об'ємів будівництва в процесі відновлення та зростання економіки. Вирішення цих проблем безпосередньо пов'язане з утворенням великої кількості будівельних відходів. Через недосконале законодавство, відсутність юридичних та економічних стимулів на даний момент технології з рециклінгу будівельних відходів активно не застосовуються. В той час такі країни як Бельгія, Данія, Нідерланди за даними ЄК станом вже на 2011 р. досягли рівня переробки будівельних відходів 80...90 %.

У 2017 р. КМУ схвалено Національну стратегію управління відходами в Україні до 2030 р. На третьому етапі її реалізації (2024–2030 рр.) передбачається здійснення заходів щодо модернізації матеріально-технічної бази з перероблення та утилізації відходів. У сфері будівельно-ремонтних відходів пропонується прийняття нормативно-правових актів для стимулювання перероблення відходів, створення ефективної інфраструктури поводження з будівельними відходами шляхом забезпечення функціонування стаціонарних та мобільних потужностей для переробки відходів, включення планів управління відходами до проектно-кошторисної документації. Таким чином, застосування матеріалів з утилізованих будівельних відходів дозволить вирішити майбутні економічні, юридичні та екологічні проблеми під час будівництва.

Мета дослідження. Аналіз результатів останніх досліджень фізико-механічних та експлуатаційних властивостей бетонів з використанням продуктів рециклінгу будівельних відходів в якості крупних та дрібних заповнювачів, а також приклади їх застосування.

Результати дослідження. Перші дослідження щодо застосування заповнювачів з бетонного брухту для виготовлення бетону в Європі були проведені ще у 1977 р. в Нідерландах. На даний момент в країнах ЄС, Британії, США та Японії визначені області застосування переробленого крупного заповнювача: крупний заповнювач у бетонах 5...20 МПа при виробництві бетонних і залізобетонних виробів та крупний заповнювач у бетонах міцністю до 30 МПа при змішуванні з природним щебенем.

Заповнювачі з подрібненого бетону вже зараз включені у специфікації та стандарти на заповнювачі в США [0], Японії та Нідерландах.

Прикладами застосування крупного заповнювача з бетонного брухту є стіни шлюзу Берендрехт, Бельгія, 1989 р. (досягнута міцність на стиск 40 МПа). Також позитивні результати використання вторинного щебня у внутрішніх стінових панелях декількох будинків в м. Амерсфорт, Нідерланди, 1986 р. [0].

У наш час нагальним є вирішення питань, що стосуються вивчення технології руйнування та вдосконалення технологічного обладнання з переробки будівельних відходів.

У 2018 р. компанія «ERC-TECH a.s.», Прага (Чеська Республіка), запатентувала технологію виготовлення бетону зі 100 % перероблених сировинних джерел. В презентації компанії стверджується про досягнення класу міцності C45/55, а також можливість застосування такого бетону не тільки в дорожньому будівництві, що вже є традиційною практикою, а і у зведенні нових будівель і споруд (рис.).



Рис. Життєвий цикл будівельних конструкцій

Вторинний крупний заповнювач (ВКЗ) представляє собою двофазові шматки, що складаються з природного заповнювача та залишкового розчину. Залишковий розчин в свою чергу сформований початковим розчином та природним дрібним заповнювачем.

На сьогодні основний масив інформації щодо досліджень властивостей бетонів на перероблених заповнювачах міститься в закордонній літературі. Так, результати досліджень [0; 0] свідчать, що застосування щебня з бетонних відходів в комбінації із кварцовим піском в якості дрібного заповнювача практично не знижує фізико-механічних властивостей бетону порівняно з бетоном на природному щебні.

У звіті [0] за результатами багатьох досліджень сформульовані особливості бетонів на ВКЗ:

- водопоглинання вторинного щебня в 5...10 разів більше за натуральний щебінь;
- вплив ВКЗ часткою 20...30 % від маси всього заповнювача незначний;
- пористість ВКЗ протягом 5 років зменшується на 45 %;
- при однаковому водо-цементному співвідношенні карбонізація та проникність хлоридів вищі в бетонах на ВКЗ.

Адамс М. та інші у своїй роботі [0] досліджували усадку при висиханні та схильність до розтріскування бетонів із ВКЗ. У зразках для випробувань в якості крупного заповнювача застосовувався подрібнений бетонний брукхт із заміною 25 % та 100 % природного крупного заповнювача. Окрему увагу автори звертали на використання однакового В/Ц 0,4 як для контрольних зразків на природному заповнювачі, так і для досліджуваних зразків. Враховуючи більшу пористість бетону на ВКЗ для збереження однакового В/Ц застосовувались суперпластифікатори. Отримані наступні результати:

1) міцність на стиск (39,3...43,4 МПа), на розтяг (3,7...4,4 МПа) та модуль пружності ($27,2 \cdot 10^3$... $28,3 \cdot 10^3$ МПа) суттєво не відрізнялись від відповідних характеристик зразків на натуральних заповнювачах;

2) присутність ВКЗ не призвела до суттєвого збільшення усадки при висиханні. З одного боку, наявність залишкового розчину на ВКЗ сприяє більшій усадці через більший вміст цементного тіста, з іншого, завдяки механічному подрібненню ВКЗ, його більш груба текстура дозволила забезпечити кращий зв'язок з розчином;

3) під час випробувань на обмежену усадку час до утворення тріщин на зразках з ВКЗ був суттєво більшим, ніж для контрольних зразків. Автори роблять припущення, що цього вдалось досягнути завдяки меншому вмісту природного крупного заповнювача в зразках з ВКЗ, і, як наслідок, зменшенню площі поверхонь з концентрацією напружень на межі розчин-заповнювач.

В дослідженні [0] на основі вивчення та аналізу 393 публікацій, починаючи з 1977 р. були зроблені висновки, що використання ВКЗ в бетоні знижує його модуль пружності. Рівень зниження залежить від вмісту ВКЗ (в середньому на 16 % за умови 100 % вмісту ВКЗ) та його властивостей, а також від В/Ц.

Основною метою дослідження [0] було вивчити властивості бетону зі скляними заповнювачами. Відсоток заміни природного заповнювача був прийнятий на рівні 30 % (на основі вивчення результатів іноземних досліджень), оскільки такий вміст не призводить до неконтрольованої лужно-кремнеземистої реакції. За результатами випробувань міцність бетонів на скляних заповнювачах має меншу міцність порівняно зі зразками на натуральних заповнювачах, але ця різниця не є суттєвою. Рухливість бетонних сумішей зі склом зменшувалась зі збільшенням кількості скла, що пояснюється формою фрагментів скляного бою (за висновками авторів [0]).

Висновки. Існуючі на сьогодні результати досліджень механічних та експлуатаційних властивостей бетонів з використанням вторинних заповнювачів свідчать про відсутність суттєвих відмінностей у порівнянні з бетонами на природних заповнювачах. На даний момент недостатньо відомостей щодо впливу реакції лугів з кремнеземами на міцність бетону з ВКЗ. Також необхідні подальші дослідження для визначення шляхів збільшення часу до утворення тріщин в результаті усадки при висиханні. Але вже найближчим часом із застосуванням нових технологічних схем переробки будівельних відходів, сучасного обладнання та домішок бетону з використанням продуктів рециклінгу будівельних відходів стануть конкурентноспроможними на ринку конструкційних бетонів.

Список використаних джерел

1. ASTM C33/C33M-18. Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM International. West Conshohocken, PA. 2018.
2. Carlo De Pauw, Johan Vyncke and Jan Desmyter. Reuse of demolition waste as aggregates in concrete. A new challenge or the re-introduction of old practice? *Sustainable Construction*. Tampa, Florida, USA, November 6–9, 1994. Pp. 385–394.
3. Безгодов И. М., Пахратдинов А. А., Ткач Е. В. Физико-механические характеристики бетона на щебне из дробленого бетона. *Вестник МГСУ*. Москва, 2016. № 10. С. 24–34.
4. Шевченко В. А., Шатрова С. А. Исследование возможности получения заполнителя для бетонов из бетонного лома. *Эпоха науки*. Ачинск, 2017. № 9. С. 165–168.
5. Hannele Kuosa. Reuse of recycled aggregates and other C&D wastes. Research Report VTT-R-05984-12.
6. Adams M. P., Fu T., Cabrera A. G., Morales M., Ideker J. H., Isgor O. B. Cracking susceptibility of concrete made with coarse recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 102. Pp. 802–810.
7. Lye C., Dhir R., Ghataora G. Elastic modulus of concrete made with recycled aggregates. Institution of Civil Engineers. Proceedings. *Structures and Buildings*. Birmingham, UK, 2016. Vol. 169. Pp. 314–339.
8. Сопов В. П., Корх О. І. Дослідження властивостей бетонів на скляних заповнювачах. *Науковий вісник*. Харків : ХНУБА, 2019. № 4. С. 318–322.