

## **ПРОБЛЕМИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЦЕМЕНТІВ У БЕТОНАХ**

### **PROBLEMS OF RATIONAL WASTE CEMENT IN CONCRETE**

**Нетеса М.І., д.т.н., проф., Нетеса А.М., к.т.н., доц., Нікіфорова Н.А., к.т.н., доц., Косячевська С.М., к.т.н., доц. (Український державний університет науки та технологій)**

**Netesa M.I., Dr. Sci. Eng., Prof, Netesa A.M., Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nikiforova N.A., Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Kosiachevska S.M., Ph.D. (Eng.), Associate Professor (Ukrainian State University of Science and Technologies)**

Проблеми раціонального ефективного використання природних ресурсів у будівництві, в тому числі дорожнього, в останні десятиліття постали досить гостро у світі. Особливо важливі ці проблеми для України. Протягом військових дій на території України в період 2014-2022 рр. відбулося руйнування значної кількості об'єктів житлового, громадського призначення, інфраструктурних комплексів, тощо. Закордонні партнери вже створюють фінансові інститути для якомога швидшого повоєнного відновлення України. Відповідно, процеси будівництва будуть масштабними та призведуть до найбільшого напруження логістичних елементів організаційно-технологічних та планувальних процесів. Очікується особливо гостра проблема в постачанні будівельних матеріалів (цемент) на заводи з виробництва бетонних сумішей через значне зростання попиту, особливо з урахуванням очікуваного акцентування на зведенні підземних споруд значних обсягів (автомобільні парковки, сховища для людей, тощо), які очікувано будуть основним аспектом відновлення населених пунктів, а також створення нового сучасного інклюзивного гнучкого та зручного життєвого простору для жителів міст.

Для суттєвого зниження енергозатрат у будівельній галузі ефективно розвивається напрямок з використанням цементів у бетонах і розчинах з мінімізацією витрат в них клінкерної складової. Остання найбільш енергозатратна з усіх інших складових цементів. Цьому напрямку присвячені роботи [1 – 3], в яких приведені власні результати досліджень та детальний огляд джерел з цих проблем. Вирішення даних проблем досягається, в основному, за рахунок ефективної хімізації цементів та бетонів, за рахунок чого суттєво підвищуються технологічні характеристики бетонних сумішей та потрібні фізико-механічні характеристики затверділих бетонів. Такі результати досягаються головним чином за рахунок вплив різноманітних хімічних добавок на

цементний камінь, який забезпечує високі фізико-механічними характеристиками затверділих бетонів.

Але при однакових, у тому числі високих, характеристиках цементного каменю фізико-механічні характеристики затверділих бетонів у значній мірі залежать від структури бетонів на мікро-, мезо- та макрорівнях. Проблемам структурних теорій міцності у минулому столітті присвячені фундаментальні роботи [4 – 6]. Останнім часом цим проблемам приділяється менше уваги. Нами для дослідження впливу структури бетону на напружено-деформований стан та концентрацію найбільш небезпечних для бетонів розтягувальних напружень використовувалися близькі до реальної структури бетонів розрахункові моделі з визначенням напружено-деформованого стану методом скінчених елементів [7 – 11]. Отримані результати теоретичних досліджень підтверджені дослідженнями на фізичних моделях та натурними дослідженнями з реалізацією запропонованих рекомендацій при виготовленні різноманітних бетонів.

Зокрема проведеними нами дослідженнями встановлено, що концентрація найбільш небезпечних для бетонів розтягувальних напружень найбільша на межі пор або інших аналогічних дефектів структури з твердою фазою бетону і досягає величини стискувальних навантажень на бетон. Оскільки бетон має міцність на розтяг на порядок менший ніж на стиск, ці розтягувальні напруження зумовлюють початкові додаткові до існуючих у бетоні тріщиноутворення, які з'являються при його твердненні, уже при навантаженнях, які складають 25 – 30 відсотків від розрушаючих. Ці тріщини досить небезпечні, бо по мірі подальшого зростання навантажень і впливів вони розповсюджуються у бетоні та являються основною причиною його подальшого руйнування.

Тому цілеспрямоване формування низькодефектної структури з метою мінімізації концентрації розтягувальних напружень може забезпечити підвищені фізико-механічні характеристики бетонів та ефективно використання цементів у них. А отже суттєве зниження енергозатрат на їх виробництво. Проведеними нами експериментальними дослідженнями встановлено, що мінімальна пустотність трифракційної суміші забезпечується при співвідношенні розмірів зерен крупної, середньої та дрібнофракцій 100:10:1, а об'ємів цих фракцій (враховуючи, що щільність зерен фракцій важкого бетону приблизно однакова, то і мас) у співвідношенні 52:23:25. Незначне відхилення об'ємів (мас) цих фракцій в межах 2 – 3 % суттєво на щільність суміші не впливає, але при зменшенні дрібнофракцій менше 20 % щільність починає зменшуватися тим інтенсивніше, чим менший відсоток цієї фракції у суміші.

Універсальним показником ефективності використання цементу в бетонах є досягнута міцність бетону на одиницю витрат цементу – коефіцієнт ефективності використання цементу - відношення міцності до витрат цементу на кубометр бетонної суміші. Аналізом характерних складів

товарних бетонів нашого регіону встановлено, що для отримання бетону міцністю 30 МПа витрати цементу складають приблизно 300 – 350 А для бетонів міцністю 10 МПа витрати цементу складають не менше 200 кг на кубометр бетонної суміші. Тобто коефіцієнт ефективності використання цементу менший майже у два рази. На основі наших досліджень щодо раціонального зернового складу компонентів нами зроблено припущення, що таке різке зменшення коефіцієнту ефективності виростання цементу спостерігається із-за суттєвого відхилення від раціонального зернового складу компонентів. А відповідно значно більшої дефектності структури, оскільки неможливо досягти щільної упаковки зерен компонентів. Виходячи з отриманих нами попередніх досліджень з урахуванням деякої кількості дрібних компонентів у щебені та піску для важких бетонів раціональний зерновий склад має складати щебеню біля 1200 кг, піску – 550 кг цементу та мікронаповнювачу із зерновим складом приблизно таким же як цемент – 500 кг.

Практично усі дослідження щодо визначення раціональної кількості мікронаповнювачів проводяться для бетонів середньої міцності з поступовим додаванням мікронаповнювачу до складів бетону доки міцність не почне знижуватися. Кількість мікронаповнювачу при якій отримано найбільшу міцність і вважають оптимальною. Але, виходячи з наших результатів досліджень, для бетонів різної міцності раціональна кількість мікронаповнювачу суттєво відрізняється. Зменшення витрат цементу для бетонів меншої міцності необхідно компенсувати відповідно збільшенням витрат мікронаповнювачу, щоб забезпечувати раціональний зерновий склад компонентів. Забезпечуючи визначену закономірність нами бетони міцністю 10 МПа отримано приблизно з таким же коефіцієнтом ефективності використання цементу, як і бетонів міцністю 30 МПа. Така закономірність підтверджена при використанні мікронаповнювачу з хвостів збагачення залізних руд, зол виносу та інших.

Бетони низької міцності у дорожньому будівництві використовуються у значних об'ємах у якості підстилаючі шарів. Логістичні операції щодо забезпечення об'єктів будівельної індустрії необхідними матеріалами потребують ретельного проектування, особливо при зростанні обсягів робіт та швидкості створення будівельної продукції. Тому прогнозується суттєве зниження витрат найбільш енергомісткої складової бетонів та утилізація в них значної кількості вторинних ресурсів, які негативно впливають на екологічну ситуацію промислових регіонів України.

### Список використаних джерел

1. Кривенко П.В., Рунова Р.Ф., Руденко І.І. Пластифіковані бетони і розчини на основі цементів системи  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ : монографія. Київ: Видавництво Ліра-К, 2022. - 392 с.

## Збірник тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції

2. Саницький М. А., Кропивницька Т. П., Гев'юк І. М. Швидкотверднучі портландцементи з добавкою вапняку. *Будівельні матеріали та вироб.* 2019. № 1/2 (100). С. 34–37.
3. Aitcin P.-C., Wilson W. Cements of today – concretes of tomorrow. *CWB*. 2014. P. 349–358.
4. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
5. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1974. 96 с.
6. Грушко И.М., Ильин А.Г. Прочность бетонов на растяжение. Харьков: Изд-во ХГУ, 1973. 215 с.
7. Нетеса Н.И. Механика и технология бетонов. Киев-Донецк: Вища школа, 1987. 148 с.
8. Пшинько А.Н., Нетеса Н.И., Данилов Е.И. Возможное влияние важнейших структурных характеристик бетона на концентрацию напряжений и прочность. *Перспективные задачи инженерной науки*. Д.: GAUDEAMUS. 2002. Вып. 4. С. 71-76.
9. Гусев Б.В., Зазимко В.Г., Нетеса М.И. Исследование напряженно-деформированного состояния композитов с использованием метода конечных элементов. *Строительство и архитектура. Известия высших учебных заведений*. 1981. № 8. С. 13-16.
10. Нетеса Н.И., Кириаш В.Г. Эффективность бетонных смесей с рациональным зерновым составом. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2001. № 5. С. 41-46.
11. Нетеса Н.И. Влияние зернового состава компонентов на структуру и прочность бетонов. *Вопросы химии и химической технологии*. 2002. № 1. С. 56-60.