

ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЛИВОСТІ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ БУДІВЕЛЬНОГО ПІСКУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ЯКОСТІ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ

Стабільність якості бетонних сумішей є фундаментальною вимогою сучасного будівництва, що безпосередньо впливає на довговічність, надійність та економічність конструкцій. Серед усіх компонентів бетону, дрібний заповнювач (будівельний пісок) відіграє критичну роль, формуючи структурний каркас, що заповнює простір між зернами щебеню, та суттєво впливаючи на реологічні властивості суміші. Однак, на відміну від цементу чи хімічних домішок, пісок є природним матеріалом, якому притаманна значна мінливість характеристик, зокрема, гранулометричного складу. Ця мінливість є ключовим дестабілізуючим фактором у технології бетону, що вимагає глибокого теоретичного дослідження.

Гранулометричний склад піску, що описується такими показниками, як модуль крупності, повний залишок на ситах та вміст пилоподібних і глинистих частинок, є визначальним фактором для ключових властивостей бетонної суміші. Він безпосередньо впливає на водопотребу: збільшення частки дрібних фракцій різко підвищує сумарну питому поверхню заповнювача, що вимагає більшої кількості води для досягнення заданої рухливості (конуса осадки). Це, у свою чергу, призводить до зниження кінцевої міцності та морозостійкості бетону через збільшення водоцементного відношення [1].

Проблема полягає в тому, що традиційні методи проектування складу бетону часто базуються на усереднених або паспортних даних гранулометрії піску, ігноруючи її неминучу мінливість. Джерелом цієї мінливості є як природна неоднорідність покладів у кар'єрі, так і технологічні аспекти видобутку та переробки (наприклад, ефективність роботи промивних установок). В результаті, фактичний склад піску, що надходить на бетонний вузол, може суттєво відхилитися від проєктного, що призводить до неконтрольованої зміни властивостей суміші від замісу до замісу.

Теоретичне завдання полягає у переході від констатації факту мінливості до її кількісного аналізу та прогнозування її впливу. Недостатньо знати середній модуль крупності; необхідно дослідити статистичні параметри його розподілу – дисперсію, стандартне відхилення та коефіцієнт варіації. Саме ці показники характеризують стабільність постачання сировини. Дослідження має на меті встановити кореляційний зв'язок між статистичними показниками мінливості гранулометрії піску та варіативністю ключових показників якості бетону (рухливість, міцність).

Для забезпечення стабільності якості бетону необхідна розробка моделі "чутливості" рецептури до змін у складі заповнювача. Наприклад, рецептура, оптимізована для піску з низькою дисперсією гранулометричного складу, може виявитися абсолютно нестійкою при використанні піску з тим же середнім модулем крупності, але високим коефіцієнтом варіації. Це вимагає введення поняття "робастності" складу бетону – його здатності зберігати задані властивості в умовах коливання характеристик сировини.

Методологічно, таке дослідження передбачає систематичний моніторинг гранулометричного складу піску з кар'єрів у динаміці, із застосуванням статистичного аналізу часових рядів. Отримані дані про мінливість (наприклад, частота та амплітуда відхилень вмісту дрібних фракцій) мають бути використані для лабораторного моделювання. Це дозволить кількісно оцінити, як конкретне відхилення у складі піску впливає на водопотребу та міцність бетону, та визначити критичні межі допустимої мінливості.

На основі таких досліджень стає можливим розробка адаптивних систем контролю якості. Замість реактивного підходу (коригування складу бетону "по факту" зміни рухливості), пропонується проактивний підхід. Отримавши дані вхідного контролю про гранулометрію нової партії піску, система, базована на розробленій моделі, може автоматично розрахувати необхідне коригування дозування води та пластифікатора ще до початку замісу, забезпечуючи стабільний вихідний продукт.

Таким чином, дослідження мінливості гранулометричного складу піску є ключовим для підвищення технологічної стабільності виробництва бетону. Воно дозволяє перейти від ідеалізованих лабораторних складів до реальних виробничих умов, мінімізувати ризики браку, знизити перевитрату цементу та хімічних домішок, і, як наслідок, забезпечити гарантовану якість та економічну ефективність бетонних сумішей.

Список використаної літератури:

1. Development of geopolymers concrete formulations based on activated stone processing sludge to reduce natural resource consumption / V. Shamrai et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 5, no. 6 (137). P. 41–48. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.341720>