

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ
ВИСОКОФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЕТОНІВ
З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ
КОМП'ЮТЕРНОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**

С.В.Коваль, С.В.Савченко

Одеська державна академія будівництва та архітектури

1. Проблематика досліджень

В умовах інтеграції України в європейський ринок перед вітчизняною будівельною індустрією стоять проблемні завдання вдосконалення традиційних і створення нових технологій, зниження експлуатаційних витрат та інвестиційних ризиків при будівництві інженерних об'єктів. Світовий досвід показує, що науково-технічний прогрес в галузі забезпечується використанням нового покоління високофункціональних бетонів з комплексом різноманітних і підвищених (в стосунку до традиційних) властивостей. Згідно з визначенням Американського інституту бетону АСІ, високофункціональний бетон (ВФБ, НРС, High Performance Concrete) - це бетон «відповідний спеціальним вимогам до функціональності і універсальності». Проблема створення ВФБ для вітчизняної промисловості актуальна, але потребує, зокрема, підвищення складності та рурсурсоемності досліджень, необхідність багатопараметричної оцінки ВФБ в умовах значного збільшення складових, оптимізації комплексних модифікуючих добавок та поліфракційних наповнювачів, використання нових методів випробування бетонів.

Розробка високофункціональних матеріалів не представляється теперішній час ефективною без кількісного аналізу взаємозв'язку між характеристиками складу і функціональними властивостями. Це визначає доцільність побудови функціональних залежностей у вигляді багатофакторних ЕС-моделей та їх використання для вирішення рецептурно-технологічних завдань. Таким чином, для проектування ВФБ, є доцільна концепція, що поєднує фізико-хімічне та технологічне знання з раціональним багатофакторним натурним та обчислювальним експериментом на базі експериментально-статистичних моделей.

2. Стан дослідження проблеми

Даний підхід розвиває результати виконаних раніше досліджень в галузі комп'ютерного будівельного матеріалознавства - наукового напрямку, сформованого в Одеській державній академії будівництва та

архітектури професором В.А.Вознесенським. За цей період розроблено базове методичне забезпечення пошуку компромісних умов створення та модифікації матеріалів, якість яких оцінюється за великим числом різноманітних критеріїв, досліджена велика група будівельних композиційних матеріалів з силікатними і полімерними матрицями, в тому числі бетони спеціального призначення, полімербетони, широка група композитів на основі сухих будівельних сумішей і ін. Для розвитку цього напрямку була сформульована наукова концепція «рецептурно-технологічних полів властивостей» матеріалів [1], розроблена и впроваджена в науководослідну практику технологія комп'ютерного пошуку ефективних модифікаторів бетонів [2]. На підставі розробленої методології в ОДАБА вперше в Україні у 2010-2014 рр доведена можливість [2, 7-11] отримання з використанням регіональної сировини бетонів т.зв. «нових генерацій» - високощільновальних, високоміцних тощо.

У ході досліджень умов отримання ВФМ викристовано, зокрема, наступні методики:

- пошук зв'язків рецептурно-технологічних умов, характеристик виникаючих структур і властивостей технологічних сумішей і готових продуктів, імітуючи в обчислювальних експериментах матеріали в досліджуваних діапазонах складів і параметрів обробки;

- пошук допустимих рецептурно-технологічних рішень (що гарантовано забезпечують вимоги специфікацій), оптимальних рішень (з того чи іншого критерію) або компромісно оптимальних за кількома критеріями якості матеріалу та ресурсозбереження;

- експериментальна оцінка однорідності властивостей бетону в елементах з пошаровим скануванням зерен заповнювача, розрахунок і моделювання впливу факторів, зокрема добавок, на критерії систематичної і випадкової складової поля неоднорідності;

Істотні результати в прогнозуванні властивостей і розв'язанні задач пошуку допустимих і найкращих рецептур і режимів планується досягти за рахунок об'єднання різних типів моделей (структурних, реологічних і т.п.)

При дослідженні моделей виявляються оптимальні концентрації добавок, області екстремуму значень властивостей, допустимих і компромісних рішень при нормованих показниках, і вирішуються інші інженерні завдання.

Необхідність оперативного створення ВФМ в умовах нестачі необхідних матеріальних, трудових та інтелектуальних ресурсів на дослідження вказує на необхідність поширення розроблених методів та їх вдосконалення з урахуванням специфіки складу, технології та режимів експлуатації матеріалів.

3. Приклад об'єкту досліджень

Подальші перспективи підходу до створення високо функціональних бетонів проаналізовано на прикладі самоущільнювальних бетонів- (СУБ, SCC –Self Compacting Concrete), які, окрім традиційних показників якості, мають, як мінімум, п'ять необхідних характеристик бетонної суміші, що забезпечують якісне безвібраційне формування залізобетонних щільноармованих конструкцій складної конфігурації.

Появлення самоущільнювального бетону пов'язано з дослідженнями японських вчених [3]. Значного поширення ці бетони отримали в США, Німеччині, Франції та інших розвинутих країнах світу. Європейською комісією розроблено методи верифікації бетонів типу СУБ, узагальнюється досвід їх використанні в будівництві. Однією з важливих задач є стабілізація реологічних параметрів таких сумішей, в тому числі з урахуванням кліматичних особливостей виготовлення та експлуатації. Теоретична база таких бетонів теж потребує подальшого розвитку. Існуючі розрахункові методи проектування складів базуються на різних теоретичних передумовах: оптимізація реологічних параметрів бетонної суміші [4], найбільш щільна упаковка заповнювачів [5], максимальний вміст заповнювача з умови блокування розпливу, і мінімальної кількості розчину, необхідного до забезпечення самоущільнення суміші [6] та ін. Реалізація на практиці даних методик вимагає визначення великої кількості коефіцієнтів емпіричним шляхом. Тому для доповнення цих концепцій та вирішення конкретних рецептурно-технологічних задач проектування складу ефективними можуть бути методи комп'ютерного моделювання і оптимізації.

4. Основні завдання, методи, засоби та особливості досліджень

Запропонована методологія апробована в задачах пошуку раціональних складів високофункціональних будівельних матеріалів, в тому числі:

- самоущільнювальних бетонів з використанням регіональних матеріалів (цементу, пісків, наповнювачів у виді відходів камнепилення вапняка, золи винесення) [7];

- високоміцних СУБ ($f_{cm} \geq 60$ МПа) з компенсованою усадкою (за рахунок введення водонасиченого пористого агента, в т.ч. суперадсорбенту -SAP) [8, 11];

- самоущільнювальних бетонних сумішей з подовженою «життєздатністю» в часі та при підвищеній температурі тверднення (за рахунок використання метода подвійного введення добавок) [9];

- самоущільнювального керамзитобетону підвищеної міцності з високою стійкістю до сегрегації складових суміші в елементі за рахунок оптимізації складу комплексної добавки та гранулометрії заповнювачів

та наповнювачів [10].

Алгоритми оптимізації складу враховують, з позицій самоущільнення, особливості структурно-реологічних параметрів мінеральної матриці і «каркаса» заповнювачів, а також їх взаємовплив.

Використання методик обчислювальних експериментів на ЕС-моделях дозволяє розширити границі якості матеріалів. Слід зазначити, що прямих аналогічних досліджень, що пропонуються з позицій комп'ютерного матеріалознавства в області створення СУБ, на даний час не існує. Використання методик обчислювальних експериментів на ЕС-моделях дозволяє розширити границі якості матеріалів. Слід зазначити, що прямих аналогічних досліджень, що пропонуються з позицій комп'ютерного матеріалознавства в області створення СУБ, на даний час не існує.

5. Практична цінність для економіки та суспільства

Результати проекту спрямовано на підвищення конкурентоздатності вітчизняної будівельної продукції за рахунок створення матеріалів нових поколінь, чому сприяє використання методів комп'ютерного матеріалознавства для пошуку раціональних рецептурно-технологічних рішень на стадії проектування їх складів, технологій та властивостей. При використанні раціонально складених високофункціональних матеріалів можливим є отримання одночасно технічного, екологічного та соціального ефектів. Так, для бетонів типу SCC такими ефектами є скорочення часу бетонування конструкцій; підвищення якості поверхні конструкцій; зменшення витрат робочої сили на бетонування і обробку; підвищення ефективності бетононасосів; виключення вібрування суміші з технологічного процесу; поліпшення умов праці в результаті виключення вібрації; скорочення часу використання засобів транспорту бетону; можливість транспортування суміші на великі відстані; економія енергоресурсів; можливість підвищення коефіцієнта армування та ін. Це повною мірою відповідає концепції сталого розвитку суспільства, що передбачає максимальне зниження споживання енергії та виключення викидів шкідливих відходів, зберігаючи при цьому економічну доцільність і конкурентоздатність будівництва.

Summary

The article considers the main directions of creating an effective development methodology of Highly Performance Concretes (HPC) and shows status of research problems. Methods of Computer Material Science are used for the search of such materials. The perspective ways of research of new generations concretes with ensured wide range of rheological and performance properties are presented.

Література

1. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. –Одесса: Астропринт, 2006. –116 с.
2. Коваль С.В. Моделирование и оптимизация состава и свойств модифицированных бетонов. –Одесса: Астропринт, 2012. –424 с.
3. Ozawa K., Sakata N., Okamura H., Evaluation of self-compactibility of fresh concrete using the funnel test, *Concr. Libr. JSCE* 25 (1995). –S.59-75.
4. Urban M. Metody projektowania betonow samozagęszczalnych, Materiały III SympozjumNaukowo-Technicznego "Reologia w Technologii Betonu", Gyrażdże Cement, 2001. –S.61-71.
5. Petersson O., Bilberg P. Invstigation on bloking of SCC with different maximum aggregate size and use of viscosity agent instead of filler. 1st Int. RILEM Symp. On SCC, Stockholm:RILEM Publ.S.A.R.L,1999.
6. Szwabowski J.,Gołaszewski J. Technologia betonu samozagęszczalnego. *Polski Cement*, 2010. –160 s.
7. Коваль С.В., Поляков Д.М., Циак М., Ситарски М. Пути создания самоуплотняющихся бетонов // Будівельні конструкції: Міжвід. наук-техн. зб. –К.: НДІБК, 2009. –Вип. № 72. –С. 232-238.
8. Аль-Раммахі Наджах. Високоміцні самоущільнювальні бетони з компенсованою усадкою для умов сухого жаркого клімату. Автореф. дис. канд. техн. наук 05.23.05. – Будівельні матеріали та виробн. – ОДАБА, Одеса, 2013. –20 с.
9. Саліх Фетіан. Забезпечення збереженості властивостей самоущільнювальних бетонних сумішей в умовах сухого жаркого клімату. Автореф. дис. канд. техн. наук 05.23.05. – Будівельні матеріали та виробн. – ОДАБА, Одеса, 2014. 20 с.
10. Острыжнюк М.В. Самоуплотняющийся легкий бетон: состав и свойства. – Одесса: Вісник ОДАБА. –№57, 2015. – С. 335-340.
11. Коваль С.В., Ибрагим Мохи Кадум, Артур Якубчак. Влияние суперадсорбента на деформативные и реологические свойства цементных систем // Вісник ОДАБА, Одесса: Зовнішрекламсервіс. 2014. –№52. –С.321-329.