

**РОЗРОБКА ВИСОКОФУНКЦІОНАЛЬНИХ
САМОУЩІЛЬНЮВАНИХ БЕТОНІВ АРМОВАНИХ
БАЗАЛЬТОВИМ ВОЛОКНОМ**

**Стечишин М.С.¹, асп., Шевчук Г.Я.¹, к.т.н., доц.,
Гнип О.П.², к.т.н., доц.**

¹ *Національний університет “Львівська політехніка”, Україна*
² *Одеська державна академія будівництва і архітектури, Україна*

В сучасних умовах в будівельній галузі щораз більшого розповсюдження набувають самоущільнювальні бетони (SCC). Їх особливістю є те, що вони разом з високими фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками ущільнюються і повністю заповнюють форму без механічного впливу під дією власної ваги. Проте і в таких бетонах міцність на розтяг та на згин є на порядок нижчою міцності на стиск. Один із способів, що дозволяє покращити роботу бетону на розтяг і підвищити його тріщиностійкість, передбачає введення фібри.

Основними напрямками використання самоущільнюваних бетонів армованих дисперсними волокнами є ресурсоощадне висотне будівництво, промислові підлоги, атомні електростанції, морські гідротехнічні споруди, водосховища, великогабаритні збірні конструкції, будівництво мостів і тунелів, монолітні і збірно-монолітні спеціальні споруди, покриття злітно-посадкових смуг аеродромів, монолітних конструкцій, стартових комплексів для космічних систем та інших спеціальних об'єктів.

Розширення застосування бетону в будівництві та жорсткість умов експлуатації конструкцій вимагає постійного вдосконалення його міцності, тріщиностійкості, опору ударним і динамічним впливам. Дисперсне армування та армування безперервною волокнистою арматурою надає бетону підвищену стійкість до розтріскування, згинальним і розривним навантаженням, дозволяє створити необхідний запас міцності, зберігаючи цілісність конструкції, навіть після появи наскрізних тріщин. На сьогодні стримуючими чинниками в процесі впровадження армування бетонних виробів волокнами (скляним, полімерним, металевим) є низька хімічна стійкість волокон в середовищі тверднучого цементного тіста, висока вартість синтетичних волокон при їх низькій ефективності, дефіцит фібри [1]. Всі

перераховані вище недоліки повністю відсутні у базальтової фібри. При широкому застосуванні залізобетону особливої уваги заслуговують композиційні матеріали, в яких роль матриці виконує цементний камінь, а в якості арматури використовуються базальтові волокна. Застосування дисперсного армування в самоущільнюваних сумішах забезпечує можливість часткової або повної відмови у використанні арматури в залізобетонних конструкціях.

Для досягнення високих експлуатаційних характеристик сучасних бетонів ставлять високі вимоги до матеріалів для їх приготування. Особливе значення для армування самоущільнюваних бетонів базальтовою фіброю має його хімічна стійкість у лужному середовищі бетону. Обов'язковим є використання неорганічних матеріалів з високою питомою поверхнею, які збільшують водоутримувальну здатність суміші (зола-вишесення, мікрокремнезем) і суперпластифікаторів, дозволяють регулювати технологічні властивості суміші та отримувати „реопластичні” бетони з низьким водоцементним відношенням, що володіють високою когезією і не розшаровуються. Проведені дослідження [2] показують, що при дотриманні певних умов базальтову фібру можна використовувати для армування бетону.

Армування фіброю може замінити армування стержневою арматурою в плитних конструкціях промислових підлог, покриттях автомобільних доріг та згинальних елементах. Покращення реологічних властивостей бетонної суміші зумовлює використання багатокомпонентних складів самоущільнюваних фіробетонів з використанням хімічних та мінеральних добавок, дисперсних волокон та поліфракційних заповнювачів [3]. Використання комплексних добавок дозволяє виготовляти мало та густоармовані конструкції меншої товщини, збільшити продуктивність вкладання бетону. Одержання самоущільнюваних фіробетонів полягає в отриманні матеріалу з максимальною щільністю та мінімальними мікротріщинами, порами. Основою технології самоущільнюваних фіробетонів є підвищення однорідності бетонної суміші шляхом зменшення максимального розміру крупного заповнювача, використання мікронаповнювачів для досягнення максимальної щільності, включення до складу бетону суперпластифікаторів для максимального розрідження бетонної суміші та дисперсного армування структури цементного каменю [4, 6].

Для виготовлення самоущільнювальних фіробетонних сумішей використовували такі вихідні матеріали: портландцемент ПЦ П/А-Ш-500 ПАТ “Волинь-цемент”. Як дрібний заповнювач до бетону застосовували кварцовий пісок з модулем крупності $M_{кр}=1,77$

Жовківського родовища Львівської області. Суміш дисперсно армували базальтовою фіброю діаметром 16 мікрон, виготовлену з базальтового ровінгу за ТУ У В.2.7-26.8-34323267-002:2009. Для підвищення рухливості суміші і зменшення водопотреби до складу суміші вводили суперпластифікатор на полікарбоксилатній основі (ПКС) та мікронаповнювач – метакаолін. Випробування текучості та в'язкості бетонної суміші визначали згідно методу випробувань FFB (Fließmaß – Fließzeit – Bloker – Test).

Для проведення експериментальних досліджень з самоущільнюваного фібробетону різних складів формували взірці-балочки розміром 4x4x16 см. При проектуванні складів самоущільнюваного фібробетону було застосовано метод ортогонально-центрального композиційного планування (ОЦКП). Факторами оптимізації вибрано вміст метакаоліну та значення витрати суперпластифікатора полікарбоксилатного типу, випробувано 9 складів самоущільнюваного фібробетону.

Покращення показників якості бетонних виробів досягається за рахунок застосування математичних моделей, які враховують і описують реологію бетонних сумішей, оптимальний розподіл заповнювачів у структурі матеріалу, а також апроксимаційних статистичних залежностей, що оцінюють вплив мікронаповнювачів на експлуатаційні характеристики споруд [6]. Для проектування складу самоущільнювального бетону армованого базальтовою фіброю виконане експериментально-статистичне моделювання з вирішенням багатопараметричних задач оптимізації з позиції адекватності властивостей критеріям функціональності. Факторами оптимізації вибрана кількість витрати суперпластифікатора полікарбоксилатного типу ($X_1=1,0; 2,0; 3,0$ мас.%) та мінеральної добавки на основі метакаоліну ($X_2=0; 60; 120$ кг) за стабілізованих значень витрати регулятора в'язкості (0,1 мас. %). Згідно з ДСТУ Б В.2.7-46-2010 (В/Ц=0,39, РК \geq 135 мм) цементуюча система “портландцемент–активна мінеральна добавка–суперпластифікатор полікарбоксилатного типу–базальтова фібра” забезпечує вимоги до пластифікованих цементів.

Отримані результати коефіцієнтів рівнянь регресії для розпливу конусу та границі міцності на стиск наведені в табл. 1. При плануванні експерименту були вибрані наступні контрольні параметри: Y_1 – розплив конуса цементного розчину; Y_2 – умовна в'язкість цементного розчину, τ_{250} , с; Y_3, Y_4, Y_5 – границя міцності зразків на стиск через 2; 7 та 28 діб тверднення відповідно; Y_6, Y_7, Y_8 – границя міцності зразків на згин через 2; 7 та 28 діб тверднення відповідно.

За отриманими рівняннями регресії побудовані ізопараметричні поверхні та діаграми, що адекватно описують залежність міцності на стиск від змінних параметрів через 2 та 28 днів тверднення (рис. 1).

Табл. 1. Значення коефіцієнтів рівнянь регресії

Функції відгуку	Коефіцієнти регресії					
	b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{12}	b_{22}
Y_1	292,22	34,17	32,50	-46,83	13,17	-31,25
Y_2	13,97	1,17	-3,12	-1,90	1,15	-4,23
Y_3	46,57	-1,23	-2,08	1,58	0,43	2,88
Y_4	63,17	-0,57	1,10	-1,20	3,70	1,70
Y_5	83,33	1,91	6,28	-6,05	-4,05	-5,75
Y_6	9,46	-0,45	0,18	0,52	-0,43	0,30
Y_7	11,56	0,26	-0,28	0,91	0,53	0,21
Y_8	11,23	0,37	1,03	1,15	-0,55	-0,18

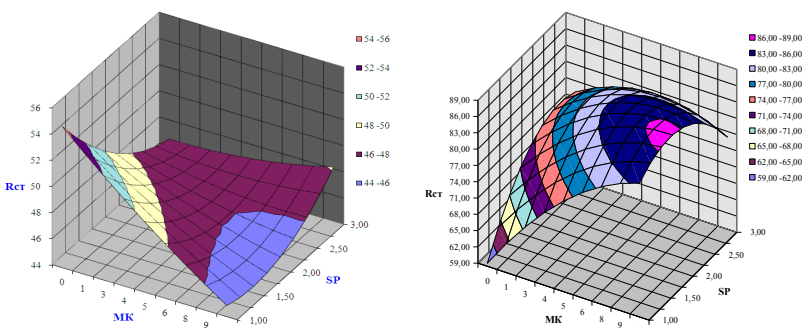


Рис. 1. Поверхні відгуку зміни міцності на стиск суперпластифікованих цементуючих систем армованих базальтовою фіброю через 2 та 28 днів тверднення

Отриманими порівняльними дослідженнями реологічних властивостей бетонних сумішей встановлено, що найоптимальнішими показниками умовної в'язкості та текучості характеризуються самоущільнювальні бетони з додаванням базальтової фібри. Встановлено, що отримані самоущільнювальні бетонні суміші, армовані базальтовою фіброю, характеризуються підвищеною щільністю (середня густина становить 2400-2425 кг/м³) та низьким

повітрязахопленням (0,35%). Показано, що введення фібри до складу самоущільнювального бетону не спричиняє зменшення пластичності бетонної суміші. Так, розплив конуса самоущільнювального бетону становить 780 мм ($t_{500}=6$ с) при водоцементному відношенні ($B/C=0,3$), після введення базальтової фібри – 790 мм, умовна в'язкість при цьому складає $t_{500}=5$ с. Слід відзначити, що введення базальтової фібри сприяє зростанню міцності при стиску самоущільнювальних бетонів в початкові терміни тверднення (рис. 2) та не впливає на його водопоглинання ($W_m=2,2\%$).

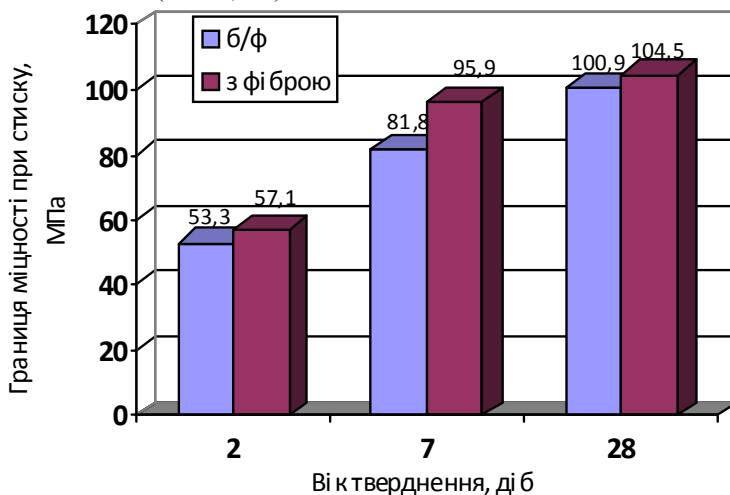


Рис. 2. Міцність самоущільнювальних бетонів

Висновок

Таким чином, дослідженнями реологічних властивостей фіброармованих самоущільнюючих бетонних сумішей показано, що вони характеризуються в'язкістю згідно стандарту, низьким повітрязахопленням, затверділий самоущільнюючий бетон має високу марочну міцність. Комплекс проведених досліджень структуроутворення бетонних сумішей на основі модифікованих цементуючих систем, дозволяє обґрунтувати можливість одержання високорухомих бетонних сумішей, пояснити механізм їх позитивного впливу на будівельно-технічні властивості та довговічність бетонів. Керування складними фізико-хімічними процесами, які відбуваються в бетоні, є

необхідним елементом одержання високоякісних виробів і конструкцій.

Summary

The results of the physical and mechanical testing self-compacting fine-grained concrete reinforced with basalt fiber with additive polycarboxylates and microfillers and characterized by improved performance properties and high vintage strength.

Література

1. Гоц В. І. Вилуговування базальтового волокна різних модифікацій/ В. І. Гоц, П. П. Пальчик, С. П. Шпера, О. Ю. Резнік // Ресурсо-економічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. – Рівне, 2010. – Вип. 2010. – с. 17 – 22.

2. Болотских О.Н. Европейские методы физико-механических испытаний бетона. // Харьков, 2010.

3. Большаков В.И., Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы теории и методологии многопараметрического проектирования составов бетона : Монография. 364 с.

4. Design, Production and Placement of Self-Consolidating Concrete// Proceedings of SCC2010, Montreal, Canada, 2010.

5. Дрібнозернисті самоущільнювальні бетони в монолітному будівництві / О. Р. Позняк, М. А. Саницький, У. Д. Марущак, І. І.Кіракевич // Буд. матеріали, виробы та сан. техніка : Наук.-техн. збірник — К, 2010. — Вип. 35. — С. 78-83.

6. Коваль П. М., І. П. Бабяк, О. Я. Гримак Дослідження впливу базальтової фібри на властивості бетону для транспортного будівництва // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць.–Рівне, 2011.–Вип. 22.–с. 93–100.

