

ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

УДК 691.3 : 691.212

Дворкін Л.Й., д-р техн. наук, **Бордюженко О.М.**, канд. техн. наук

ВЛАСТИВОСТІ МОДИФІКОВАНИХ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ БЕТОНІВ З ДИСПЕРСНИМ ГРАНІТНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

Анотація. Наведені результати досліджень модифікованих дрібнозернистих бетонів з дисперсним гранітним наповнювачем. Показано, що такий наповнювач при оптимальному дозуванні позитивно впливає на основні властивості сумішей та бетонів.

Ключові слова: гранітна мука, дрібнозернистий бетон, поліфункціональний модифікатор.

Аннотация. Приведены результаты исследований модифицированных мелкозернистых бетонов с дисперсным гранитным наполнителем. Показано, что данный наполнитель при оптимальном дозировании положительно влияет на основные свойства смесей и бетонов.

Ключевые слова: гранитная мука, мелкозернистый бетон, полифункциональный модификатор.

Abstract. The results of studies of modified fine-grained concretes with the particulate filler granite. It is shown that the optimal dosing of filler in a positive effect on the basic properties of mortars and concretes.

Keywords: fine-grained concrete, granite flour, multifunctional modifier.

Вступ

Основна маса відходів виробництва нерудних матеріалів представлена відсівами від подрібнення гірських порід на щебінь. Значну частину відсівів (15...25%) складає пилоподібна фракція з розміром зерен менше 0,16 мм. Одним з основних напрямків її застосування є використання в якості дисперсного наповнювача при виготовленні бетонів та розчинів.

Основна частина

Досить широке застосування при отриманні розчинових та бетонних сумішей знайшли карбонатні порошки. Вони сприяють зниженню витрати цементу, забезпечуючи покращення властивостей сумішей і затверділих розчинів та бетонів. В меншій мірі застосовують пилоподібні фракції, отримані при подрібненні вивержених гірських порід і, зокрема, граніту. Згідно з класифікацією мінеральних матеріалів за їх реакційною здатністю в лужному середовищі, тобто в умовах контакту з тверднучим цементом, граніти та близькі до них породи, що містять польові шпати, в умовах нормального тверднення є хімічно неактивні [1]. Але завдяки високій дисперсності та підвищеній поверхневій енергії гранітна кам'яна мука (ГКМ) також як і інші дисперсні мінеральні наповнювачі активно впливає на фізико-хімічні процеси гідратації і структуроутворення цементного каменю і, відповідно, на властивості бетонів.

В сучасні рецептури розчинів та бетонів поряд з наповнювачами вводять добавки поверхнево активних речовин (ПАР) з метою покращення легкоукладальності сумішей, зменшення їх водопотреби, втягування повітря тощо. Ряд дослідників показали, що ефективність добавок мінеральних наповнювачів в цементних розчинах і бетонах суттєво збільшується при введенні добавок ПАР. Введення ПАР може розглядатись як один із способів активації наповнювача в розчинах і бетонах.

Крім зменшення міжфазової поверхневої енергії при створенні адсорбційно активного середовища, що позитивно позначається на величині адгезійних контактів, ПАР також здійснюють дефлокулюючий вплив на високодисперсні наповнювачі, схильні до агрегування [2].

Модифікування наповнених розчинів та бетонів може здійснюватись не тільки органічними добавками ПАР і полімерів, але і мінеральними добавками, зокрема такими високоактивними, як мікрокремнезем і метакаолін. Добавки ПАР і полімерів, а також високоактивні кремнеземисті і алюмокремнеземисті добавки можна розглядати як поліфункціональні модифікатори (ПФМ), що активізують вплив мінеральних наповнювачів на властивості бетонів.

В даній статті наведені результати досліджень впливу ГКМ – продукту, вловленого аспіраційною системою при подрібненні граніту Вирівського кар'єру – активованого поліфункціональними органічними та органо-мінеральними модифікаторами, на основні властивості дрібнозернистих бетонів на їх основі.

Хімічний склад граніту у %: SiO_2 – 72.97; TiO_2 – 0.31; Al_2O_3 – 13.6; Fe_2O – 0.97; FeO – 0.58; MgO – 0.46; CaO – 1.29; Na_2O – 3.91; K_2O – 5.18; в.п.п. – 0.60. Питома поверхня ГKM – 250 м²/кг.

В сухі суміші вводили порошкоподібний суперпластифікатор СП-3. У якості водоутримуючої добавки використовували ефіри целюлози (ЕЦ) – метилгідроксиетилцелюлозу Tylose. Як активну кремнеземисту добавку застосовували метакаолін (МТК) – продукт помірною випалу збагаченого каоліну Дерманківського родовища Рівненської області. Питома поверхня МТК – 650 м²/кг, активність за поглинанням СаО – 19 мг/г. В якості заповнювача застосовували кварцовий пісок з модулем крупності $M_{кр} = 1,69$. У всіх складах сумішей забезпечували постійне співвідношення цементу та піску за масою (1 : 3).

Для дослідження впливу сукупності факторів складу сумішей, наповнених ГKM та добавками ПФМ, на показник їх легкоукладальності – рухомість за зануренням стандартного конуса – виконані алгоритмізовані експерименти відповідно до типових трьохрівневих планів Na_5 і V_4 . Умови планування експериментів наведені у табл. 1, а отримані статистичною обробкою моделі легкоукладальності та міцності бетонів – у табл. 2.

Таблиця 1 - Умови планування експерименту при дослідженні легкоукладальності та міцності дрібнозернистих бетонів з добавками ПФМ

Технологічні фактори		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Натуральний вид	Кодований вид	-1	0	+1	
Вміст водоутримуючої добавки (ЕЦ), % маси цементу	X_1	0	0,15	0,3	0,15
Вміст суперпластифікатора СП-3, % маси цементу	X_2	0	0,35	0,7	0,35
Н/Ц*	X_3	0	0,35	0,7	0,35
Витрата води В, кг/м ³	X_4	240	270	300	30
В/Ц	X_5	0,6	0,8	1,0	0,2

*Відношення маси заповнювача (ГKM) до маси цементу.

Аналіз отриманих моделей показує, що найбільше на зміну легкоукладальності модифікованих дрібнозернистих бетонів впливають вміст суперпластифікатора (фактор X_2) та витрата води (фактор X_4). Звертає на себе увагу досить значний ефект взаємодії факторів X_1 та X_2 , який показує, що одночасна зміна цих факторів посилює їх інтегральну дію.

Таблиця 2 - Експериментально-статистичні моделі легкоукладальності та міцності модифікованих дрібнозернистих бетонів (наповнювач – ГKM)

Поліфункціональний модифікатор (ПФМ)	Рівняння регресії
Суперпластифікатор СП-3 + водоутримуюча добавка ЕЦ (Tylose)	<p style="text-align: center;"><i>Легкоукладальність (рухомість)</i></p> $Y_1 = 8,44 - 0,56X_1 + 2,47X_2 + 0,97X_4 + 0,07X_1^2 + 0,82X_2^2 - 0,18X_3^2 - 0,18X_4^2 + 0,07X_5^2 - 0,25X_1X_2 + 0,38X_2X_5 - 0,50X_3X_4 - 0,69X_4X_5 \quad (1)$
	<p style="text-align: center;">Міцність на стиск у віці 28 діб</p> $Y_2 = 25,5 + 2,61X_2 + 1,11X_3 - 1,62X_4 - 8,4X_5 - 1,87X_1^2 + 1,03X_2^2 - 1,62X_3^2 + 1,83X_5^2 - 0,18X_1X_2 + 1,21X_2X_3 + 1,77X_2X_5 + 0,32X_3X_5 \quad (2)$
	<p style="text-align: center;">Міцність на згин у віці 28 діб</p> $Y_3 = 3,93 - 0,289X_1 + 0,291X_2 - 0,017X_3 - 0,935X_5 - 0,491X_1^2 + 0,009X_2^2 - 0,267X_3^2 + 0,459X_5^2 - 0,031X_2X_1 - 0,044X_5X_1 - 0,069X_5X_3 \quad (3)$

В отриманій поліноміальній моделі показника рухомості сумішей (Y_1) виявився статистично незначущим вплив фактора X_5 – водоцементного відношення в діапазоні 0,6...1,0. З технології бетону відомо [3], що до певного критичного В/Ц зберігається правило постійності водопотреби, тобто із зміною В/Ц водопотреба залишається практично постійною. Очевидно, для досліджених сумішей також зберігається правило постійності водопотреби при різних дозуваннях компонентів ПФМ. При цьому на рухомість помітно позначається відношення маси наповнювача до маси цементу (Н/Ц).

Водопотреба сумішей, яка необхідна для досягнення заданого показника рухомості, суттєво (до 14%) збільшується при збільшенні відношення Н/Ц і, особливо, при $N/C > 0,3...0,4$ а також із збільшенням у складі ПФМ долі високодисперсної мінеральної добавки (метакаоліну). Збільшення вмісту СП-3 у складі ПФМ нівелює вплив кремнеземистої добавки.

Позитивний вплив ГKM на стабілізацію рухомості сумішей у присутності СП-3 можна пов'язати з їх підвищеною водоутримуючою здатністю, що характеризується, в свою чергу, водовідділенням.

Про вплив суперпластифікаторів на водовідділення бетонних сумішей є суперечливі дані [4]. Відповідно до наших експериментальних даних при додаванні суперпластифікатора водовідділення сумішей має тенденцію до зростання. В той же час наявність полімерної добавки Tylose (ЕЦ) забезпечує зниження водовідділення у всьому інтервалі дозувань від 0 до 0,3% (рис. 1).

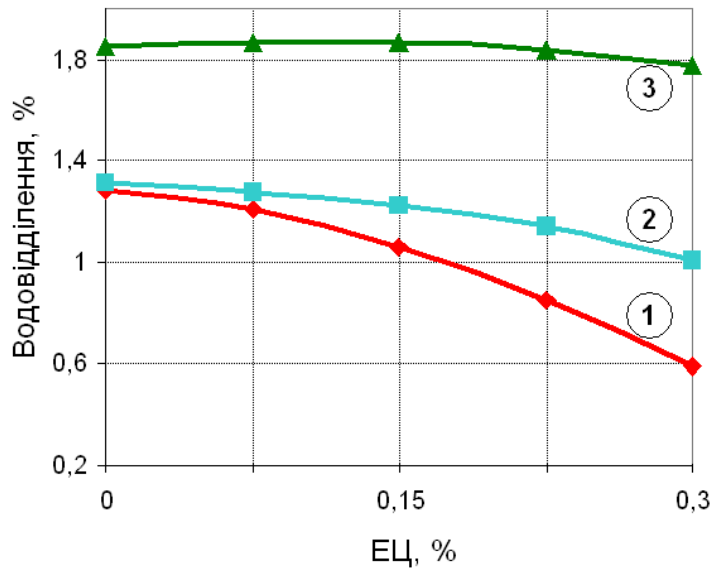
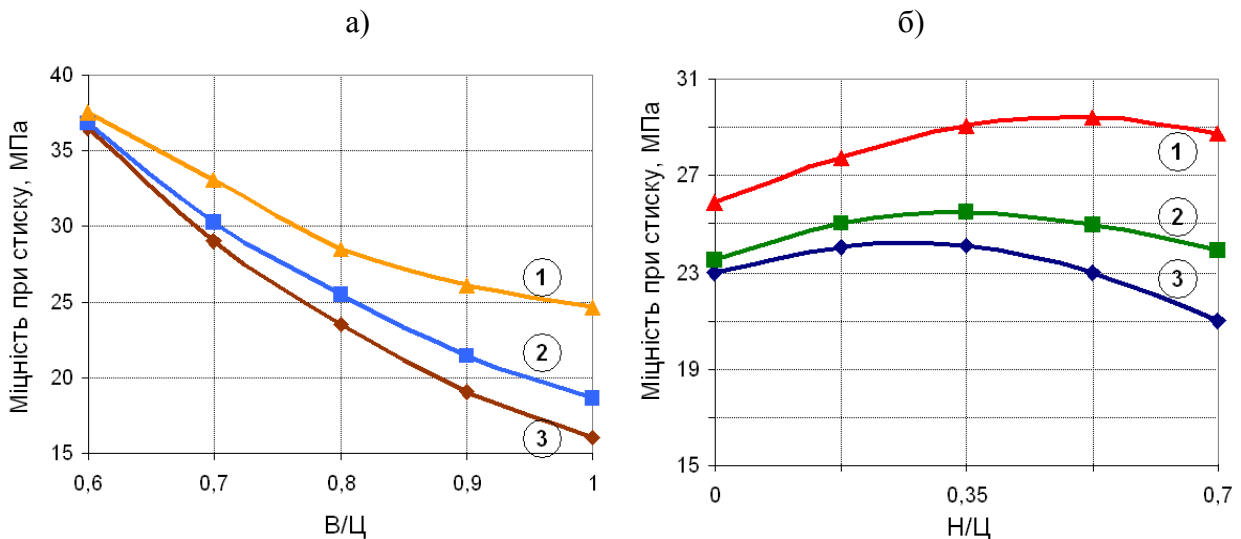


Рисунок 1 – Залежність водовідділення дрібнозернистих бетонів від вмісту ЕЦ та суперпластифікатора при Н/Ц = 0,3 та МТК/Н = 0,15 (вміст суперпластифікатора: 1 – 0%; 2 – 0,5%; 3 – 1%)

Аналіз отриманих експериментально-статистичних моделей міцності модифікованих дрібнозернистих бетонів, наповнених ГKM, підтверджує визначальний вплив на міцність при стиску водоцементного відношення (В/Ц) (рис. 2).



а) 1 – Н/Ц = 0,3; 2 – Н/Ц = 0,7; 3 – Н/Ц = 0

б) 1 – СП-3 = 0,7%; 2 – СП-3 = 0,35%; 3 – СП-3 = 0%

Рисунок 2 – Залежність міцності на стиск дрібнозернистих бетонів, наповнених ГKM від В/Ц, Н/Ц і вмісту СП-3

Наступним за значимістю фактором є вміст суперпластифікатора. Помітну роль також відіграє відношення ГKM/цемент (H/C), вплив якого як на міцність при стиску, так і на міцність при згині є екстремальним. Для усіх досліджених складів близьким до оптимального є H/C=0,35...0,5.

Додаткове включення до композиції суперпластифікатор – ефіру целюлози (Tilose) високодисперсного алюмокремнеземистого компоненту – метакаоліну дає можливість додатково збільшувати міцність дрібнозернистих бетонів наповнених гранітною кам'яною мукою (рис. 3). Деяке підвищення при цьому водопотреби сумішей можна компенсувати регулюванням вмісту суперпластифікатора.

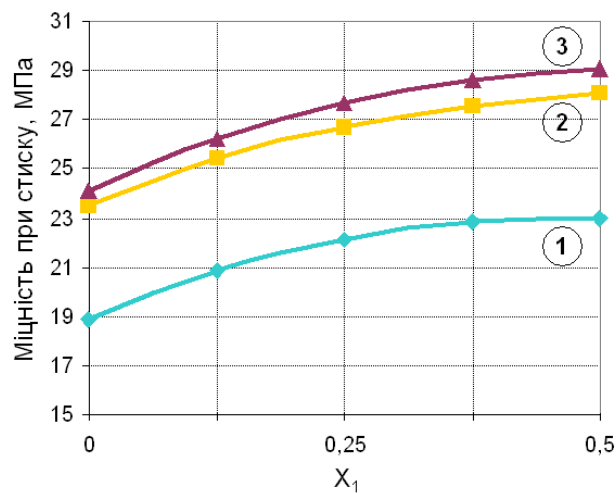


Рисунок 3 – Залежність міцності на стиск дрібнозернистих бетонів від факторів складу:

$$x_1 = \frac{V_{\text{МТК}}}{V_{\text{МТК}} + V_{\text{ГКМ}}}; \quad x_2 = \frac{V_{\text{МТК}} + V_{\text{ГКМ}}}{V_{\text{МТК}} + V_{\text{ГКМ}} + V_{\text{Ц}}} \quad (V_{\text{МТК}}, V_{\text{ГКМ}}, V_{\text{Ц}} - \text{відповідно об'єми метакаоліну, гранітного кам'яного борошна та цементу; значення фактору } X_2: 1 - 0,25; 2 - 0,4; 3 - 0,55)$$

Для оцінки впливу складу та вмісту ПФМ на зміну міцності дрібнозернистих бетонів у часі виконані спеціальні дослідження. Зразки-куби з ребром 7,07 см тверділи у нормальних умовах. За результатами випробувань розраховували коефіцієнти зростання міцності у часі, наведені у табл. 3.

Як впливає з отриманих експериментальних даних, коефіцієнти росту міцності бетонів з добавками метакаоліну (МК) та ефірів целюлози (ЕЦ) $K_{\tau} = R_{\tau} / R_{28}$ мають більш високі значення у 7-добовому віці. У подальші строки твердіння вони практично вирівнюються.

Таблиця 3 – Коефіцієнти зростання міцності дрібнозернистих бетонів у часі

№ з/П	В/Ц	Н/Ц	В, кг/м ³	МТК/Н	ЕЦ, %	Коефіцієнти зростання міцності $K_t = R_n / R_{28}$ у віці			
						7 діб	28 діб	60 діб	90 діб
1	0,8	-	250	-	-	0,60	1	1,13	1,24
2	0,75	0,4	270	-	-	0,62	1	1,14	1,24
3	0,82	0,4	277	0,15	-	0,64	1	1,18	1,23
4	0,85	0,4	281	0,3	-	0,69	1	1,16	1,27
5	0,81	0,4	275	-	-	0,63	1	1,15	1,25
6	0,83	0,4	278	-	-	0,67	1	1,18	1,26
7	0,83	0,4	279	0,3	0,15	0,71	1	1,17	1,26
8	0,82	0,4	277	0,3	0,3	0,72	1	1,18	1,25
9	0,80	0,4	273	-	0,15	0,66	1	1,15	1,24
10	0,79	0,4	271	-	0,3	0,69	1	1,17	1,27

Примітки: 1. У всі склади вводили СП у кількості 0,7% від маси цементу.
2. Співвідношення пісок : цемент прийняте рівним 3 : 1 за масою.

Для оцінки порівняльної тріщиностійкості дрібнозернистих бетонів використаний критерій $K_{тр}$, який, характеризує відношення міцнісних показників на згин та стиск ($R_{зг} / R_{ст}$).

На величину $K_{тр}$ суттєво впливають вміст вискоактивного компонента наповнювача (МК), добавок суперпластифікатора (СП) та ефірів целюлози (ЕЦ) (рис. 4). Вона також зростає при збільшенні відношення ГKM/Ц до 0,4...0,5.

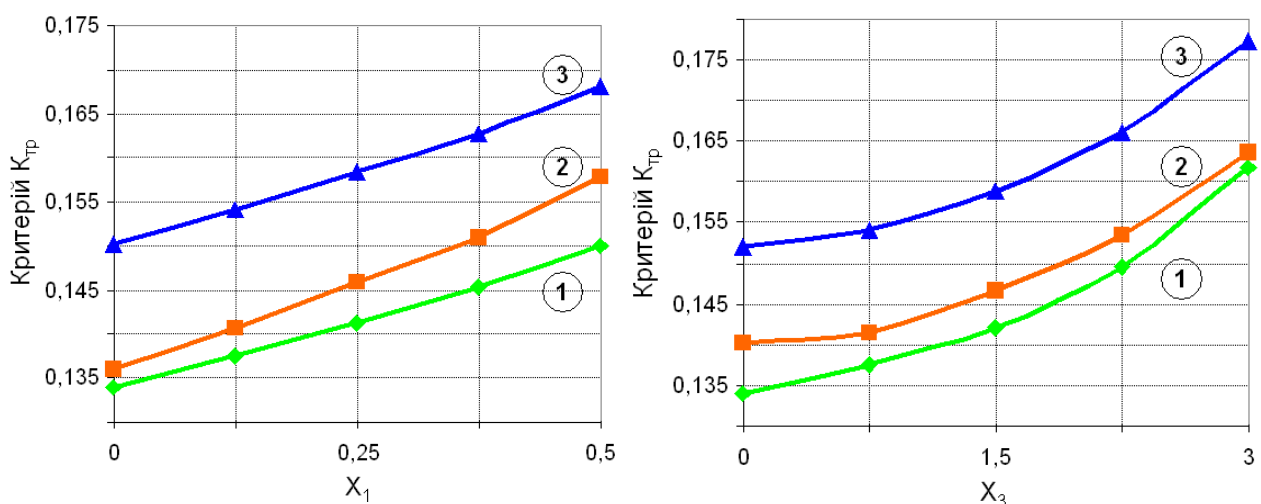


Рисунок 4 – Залежність критерія $K_{тр} = R_{зг} / R_{ст}$ від вмісту в бетонах модифікуючих компонентів ($x_1 = \frac{V_{МТК}}{V_{МТК} + V_{ГКМ}}$; $x_2 = \frac{V_{МТК} + V_{ГКМ}}{V_{МТК} + V_{ГКМ} + V_{Ц}}$; $x_3 = \text{СП} + \text{ЕЦ}$). Значення фактора x_2 : 1 – 0,25; 2 – 0,4; 3 – 0,55

Для всіх досліджених складів дрібнозернистих бетонів характерне зменшення $K_{тр}$ зі збільшенням віку. Однак темп зниження даного критерію зі збільшенням тривалості тверднення для бетонів, модифікованих метакаоліном а також добавками СП і ЕЦ суттєво менший (табл. 4).

Таблиця 4 – Зміна критерію тріщиностійкості дрібнозернистих бетонів у часі

№ з/п	Параметри складу бетону				Критерій тріщиностійкості $K_{тр} = R_{зг} / R_{ст}$ у віці		
	В/Ц	Н/Ц	В, кг/м ³	МК/Н	28 діб	60 діб	90 діб
1	0,8	-	250	-	0,140	0,136	0,132
2	0,75	0,4	270	-	0,143	0,139	0,135
3	0,82	0,4	277	0,15	0,145	0,142	0,139
4	0,85	0,4	281	0,3	0,149	0,147	0,145
5	0,81	0,4	275	-	0,147	0,145	0,142
6	0,83	0,4	278	-	0,150	0,147	0,144
7	0,83	0,4	279	0,3	0,155	0,152	0,150
8	0,82	0,4	277	0,3	0,175	0,173	0,173
9	0,80	0,4	273	-	0,160	0,157	0,156
10	0,79	0,4	271	-	0,164	0,162	0,161

Висновки

1. Гранітна кам'яна мука (ГКМ) при оптимальному дозуванні позитивно впливає на легкоукладальність, водоутримуючу здатність та міцність дрібнозернистих бетонів.

2. Властивості дрібнозернистих бетонів, наповнених ГКМ, суттєво покращуються при додатковому введенні в розчинову суміш добавок суперпластифікатора, ефірів целюлози (Tylose) і високоактивного метакаоліну.

Література

1. Виноградов Б.Н. Влияние заполнителей на свойства бетона. – М.: Стройиздат, 1979. – 224 с.
2. Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.Н., Чудновский С.М. Цементные бетоны с минеральными наполнителями. – Киев: Будівельник, 1991. – 137 с.
3. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетонознатства. – К.: Основа, 2007. – 616 с.
4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.

Рецензенти:

Мішутін А.В., д-р техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури.
Дорошенко Ю.М., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

Reviewers:

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci., Odessa State Academy of Construction and Architecture.
Doroshenko Yu.M., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: 26.05.2016 р.