

most cases are limited to use in flooring. Taking into account the physical and mechanical properties of magnesia concrete, we proposed to use it in the reconstruction (strengthening) of wooden floors to strengthen wooden beams. Magnesia concrete has high strength, adhesion, prevents the reproduction of bacteria and fungi, not combustible.

The proposed method of reinforcing wooden beams significantly increases the operational characteristics of the floor.

Key words: magnesia concrete, strengthening of wooden floors, durability, adhesion, reconstruction.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-91-1-140-145
УДК 691.328

Сопов В.П., Сінякін Д.А., Кабусь О.В.,

*Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: vsopov@ukr.net, siniakinda@gmail.com,
calorimetry_centra@ukr.net)*

БЕТОНИ ДЛЯ ЗВЕДЕННЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Показано особливості бетонів для зведення гідротехнічних споруд. Практика використання сертифікованих сульфатостійких цементів пов'язана з наявністю агресивних ґрунтових і підземних вод, що цілком зрозуміло, але в дійсності, сертифіковані сульфатостійкі цементи не володіють повною сульфатостійкістю, вони тільки більш стійкі до сульфатної корозії ніж звичайні цементи. Вирішальне значення для сульфатостійкості бетону конструкцій має кількість цементного каменю в бетоні тому, що тільки він може кородувати в сульфатному середовищі. Наведено результати підбору складів гідротехнічних бетонів. Показано можливість доцільно використовувати для всіх гідротехнічних конструкцій цемент типу ПЦ-ІІ/А-Ш-400 при гарантованій марці 400 і відповідній активності. Обов'язковою умовою є використання ефективних пластифікуючих і регулюючих кількість залученого повітря добавок, а також забезпечення сприятливих температурно-вологісних умов для бетону в конструкціях протягом усього терміну, необхідного для гідратації цементу, твердіння і набуття міцності бетону в конструкціях.

Ключові слова: гідротехнічні бетони, сульфатостійкість, водонепроникність, міцність, температурно-вологісні умови, твердіння, тепловиділення при гідратації.

Аналіз проблеми. Як відомо, гідротехнічне будівництво було і є однією з провідних галузей у будівництві. Основним конструкційним будівельним матеріалом при зведенні греблі, різноманітних будівель гідроелектростанцій, водоводів, мостів і тунелів, завжди був залізобетон. Головні показники бетону для гідротехнічного будівництва - це довговічність конструкцій, що зводяться, їх здатність протистояти агресивному впливу води и атмосферних чинників. Гідротехнічні бетони, на відміну від бетонів промислового і цивільного призначення, мають ряд особливостей. Залежно від типу конструкції і розмірів споруд, розташування щодо рівнів води, масивності конструкцій і призначаються вимоги до гідротехнічних бетонів по водостійкості,

водонепроникності, морозо-стійкості, міцності, сульфатостійкості, а також властивостей бетонних сумішей: рухливості та її збереження, однорідності, а також рівня тепловиділення в залежності від масивності конструкцій, а так же темпу їх бетонування.

Бетон - один з найскладніших композиційних матеріалів, для якого притаманні унікальні властивості [1-3]. Розробка високоякісних бетонів можлива шляхом аналізу результатів досліджень в області синтезу міцності і підвищення довговічності будівельних композитів і на основі більш повного використання енергії портландцементу, створення оптимальної мікроструктури цементного каменю, зміцнення контактних зон цементного каменю і заповнювача за рахунок спрямованого застосування

різного роду хімічних модифікаторів і високодисперсних силікатних матеріалів [4-6]. Найважливішим завданням в області бетонних робіт є забезпечення гарантованої якості бетону з однорідними властивостями в будь-якому перетині конструкції. Однак, це залежить від багатьох параметрів, серед яких, в першу чергу, проектування складу бетону, характеристики твердіння цементу і структуроутворення цементного каменю в бетоні, види технологічних впливів і якість догляду за укладеним бетоном. Вибір складу бетонної суміші залежить не тільки від конструкції, але і від умов виробництва робіт і характеру його експлуатації [7]. Для підбору складу бетону необхідні відомості не тільки про якість матеріалів, але і про те, які з них найкращим чином будуть відповідати технічним вимогам, що пред'являються до матеріалів для заданої конструкції.

Властивості гідротехнічних бетонів залежать від конструкції і розмірів споруд, розташування їх відповідно рівню води, величини тиску води, кліматичних умов та ін. Виходячи з цього, призначаються вимоги до гідротехнічних бетонів по водостійкості, водонепроникності, морозостійкості, міцності, солестійкості, а також вимоги до бетонних сумішей по удобоукладальності і величини тепловиділення при твердінні [8].

За характером експлуатації в гідротехнічних спорудах бетон поділяють на три види:

- бетон підводний, як правило, він виготовляється на шлакопортландцементі, пуцоланових цементах, портландцементях з обов'язковим додаванням пластифікаторів;
- бетон змінного рівня води, що піддається найбільшому циклічному впливу приливів і відливів. Він в обов'язковому порядку повинен задовольняти вимогам по морозостійкості, виготовляється на портландцементі або шлакопортландцементі з застосуванням комплексних модифікуючих добавок;
- бетон надводний, який знаходиться вище рівня води, виготовляється на всіх видах цементу.

В масивних конструкціях бетони поділяються на дві групи:

- бетон зовнішньої зони;
- бетон внутрішньої зони.

В особливо масивних конструкціях бетон внутрішньої зони може бути замінений відсипанням з ущільненням ґрунту або каменю. У більшості випадків бетони внутрішньої зони мають марку нижче, ніж бетон зовнішньої зони.

Гідротехнічні бетони повинні володіти хімічної стійкістю, тобто повинні протистояти хімічним впливам навколишнього середовища, водонепроникністю W2-W8, морозостійкістю F50-F300.

Використовування сьогодні в практиці гідротехнічного будівництва складів бетону відрізняються високою собівартістю, за рахунок використання спеціальних сульфатостійких цементів, визначеного мінералогічного складу, дрібнодисперсних добавок типу золи-винесення і наповнювачів зі спеціальними характеристиками. Метою дослідження є встановлення можливості використання рядових промислових цементів з добавками шлаку, рядових пісків і щебню при фіксованій їх гранулометрії в поєднанні з добавками на основі полікарбонксилатів. Для цього необхідно наряду з методами оптимізації складів бетону вирішити за даними калориметричного аналізу задачі оцінки сумісності в системі «цемент-добавка» і впливу різних видів добавок на властивості бетонних сумішей та бетонів. При цьому, за інших рівних умов потрібно прагнути до зниження витрати цементу і підвищення водонепроникності бетону.

Матеріали і методи дослідження. Для досліджень були обрані 3 види цементу; ПЦ П\А-Ш-400 від двох різних постачальників і ПЦ П\Б-Ш-400. При виборі виду цементу враховували агресивність води-середовища, положення бетону в споруді, масивність споруди і клас бетону по міцності.

У якості крупного заповнювача було обрано щебінь марки 1200 ВАТ «Гніванський кар'єр» фракції 5-20 мм і ТОВ «Демидівський граніт» фракції 10-20 мм и 5-10 мм.

Як дрібний заповнювач застосовувався пісок природний щільний рядовий з $M_k=1,86$, з дуже низьким вмістом пиловидних і глинистих часток

Модифікація властивостей бетонних сумішей і бетонів здійснювалась за допомогою хімічних добавок:

- пластифікаторів - модифіковані лігносульфонати BV-3M та 1135;
- суперпластифікаторів на основі сульфонованих нафталінформальдегідів типу С-3 і полікарбоксилатів VC-1020 UA та VC-1020 SK;
- повітровтягуючих - Mix Plus.

Досліджування проводили за стандартними методами (міцність на стиск, удобоукладальність та ін.) і за оригінальними методиками (оцінка тепловиділення при гідратації цементів методом напівadiaбатичної калориметрії) [9-10].

Проектування складу гідротехнічного бетону являє собою складне завдання, тому що в число заданих властивостей, крім міцності і рухливості, зазвичай входять водонепроникність і морозостійкість. Крім того, для підвищення якості бетону суміш заповнювачів складають не з двох, а з більшого числа фракцій (0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-80 мм і т.д.). Проектування складу бетонів здійснювалось за методикою, наведеною в роботах [11-12].

Для досягнення найбільшої ефективності отриманих бетонів була проведена серія експериментів з метою оцінки якості вихідних компонентів, їх взаємного впливу на технологічні властивості бетонних сумішей, тепловиділення, а також міцність на стиск.

Результати досліджень. Оцінка тепловиділення при гідратації цементів здійснювалась в напівadiaбатичному калориметрі конструкції ХНУБА [13]. Результати порівняльного аналізу тепловиділення при гідратації системи «цемент-вода» для різних видів цементів з водоцементним відношенням $V/C=0,3$ наведено на рис. 1-2.

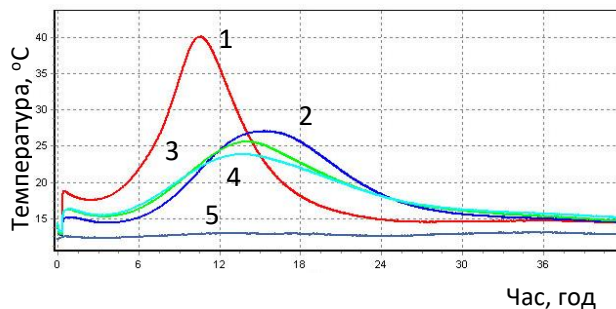


Рис. 1. Термограма гідратації вихідних цементів 1 – ПЦ-I 500; 2 – ПЦ-II/Б-Ш-400 (2); 3 - ПЦ-II/А-Ш-400; 4 - ПЦ-II/Б-Ш-400 (1); 5 – навколишнє середовище

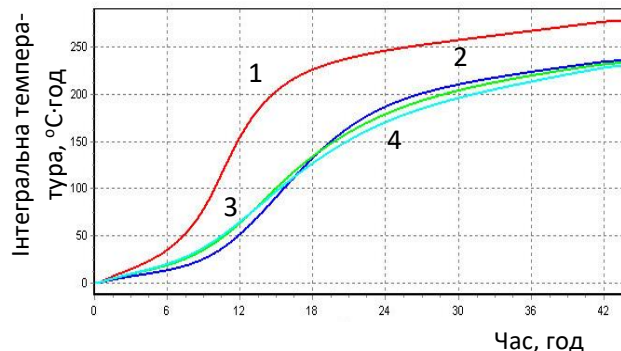


Рис. 2. Інтегральна температура гідратації вихідних цементів (позначення відповідають рис. 1)

Як видно на рис. 1-2, тепловиділення вихідних цементів істотно відрізняється від характеру тепловиділення при гідратації цементу ПЦ-I 500. Вибрані цементи виділяють значно меншу кількість теплоти при більш повільній швидкості гідратації. Таким чином, використання обраних цементів при виробництві масивних гідротехнічних споруд зменшує ризик виникнення великих градієнтів температури під час твердіння бетону, які є причиною появи температурних тріщин [14].

Достатньо важливим є питання сумісності хімічних добавок з конкретним видом цементу [15-16]. Це наочно демонструють дані по оцінці впливу добавок-полікарбоксилатів на характер тепловиділення цементу ПЦ II/A-Ш-400 (рис. 3-4).

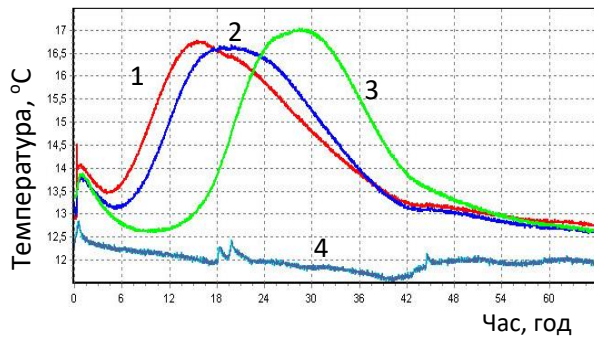


Рис. 3. Термограма гідратації цементу ПЦ-II/A-III-400 з хімічними добавками 1 – контрольний; 2 – 0,8% VC-1020 UA від маси цементу; 3 – 0,8% VC-1020 SK від маси цементу; 4 – навколишнє середовище

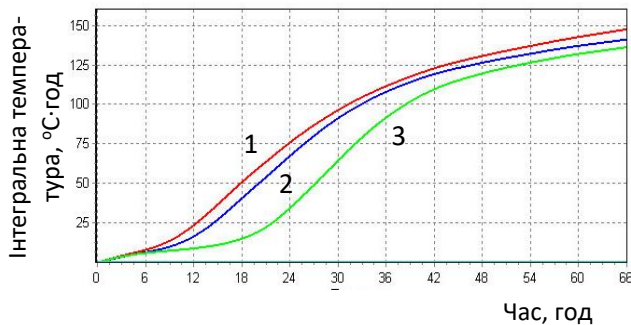


Рис. 4. Інтегральна температура гідратації цементу ПЦ-II/A-III-400 з хімічними добавками (позначення відповідають рис. 3)

Рис. 3,4 пояснюють ту роль, яку грає сумісність системи «цемент-добавка», коли зміна довжини молекулярного ланцюжку може істотно змінювати характер впливу добавки.

Добавка VC-1020 SK зміщує максимум тепловиділення з 15 до 27 годин, сповільнюючи процес твердіння цементного каменю. В порівнянні з нею добавка VC-1020 UA зміщує максимум тепловиділення всього на 4 години, оскільки за рахунок невеликої довжини молекулярного ланцюжку вона володіє прискорювальним ефектом.

Результати випробувань міцності на стиск зразків бетону на різноманітних цементах без добавок наведено на рис. 5.

Результати випробувань свідчать про те, що характер набору міцності та її величина в усі терміни твердіння бетонів на різних цементах практично однакові.

Вплив різних видів добавок на характер набору міцності бетону на основі цементу ПЦ-II/A-III-400 наведено на рис. 6.

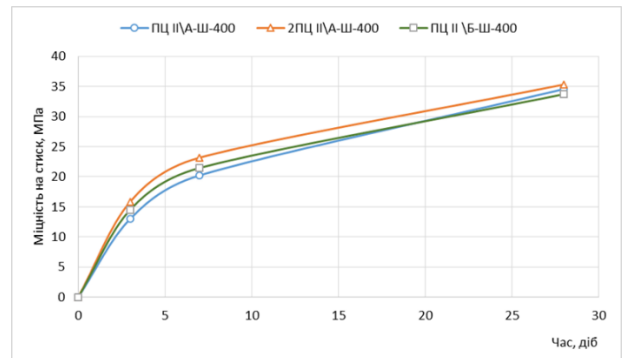


Рис. 5. Міцність на стиск бетонів без добавок

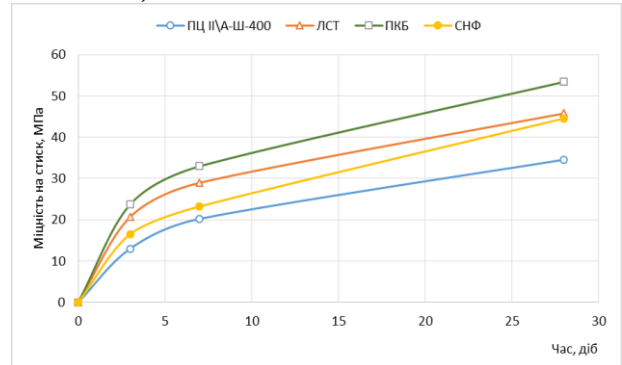


Рис. 6. Міцність бетонів на основі ПЦ-II/A-III-400 з різними видами добавок

Найкращі показники міцності у всі терміни твердіння характерні для бетонів з добавкою полікарбоксилату. Попередні результати випробувань наданих цементів (7-28 діб нормального твердіння) показали, що всі цементы можуть бути використані для виготовлення гідротехнічних конструкцій, а також дозволяють відмовитися від традиційного додаткового використання золи-виносу.

З огляду на вищевикладене, можливе і доцільне використовувати для гідротехнічних споруд цемент типу ПЦ-II/A-III-400, при гарантованій марці 400 і відповідній активності. Цементи такого типу дешевше, мають значно меншу екзотермію (виділення тепла) при твердінні. Бетони на їх основі мають меншу усадку, досить високу сульфатостійкість і довговічність. Обов'язковою умовою є використання ефективних пластифікуючих і регулюючих кількості залученого повітря добавок, а також забезпечення сприятливих температурно-вологісних умов для бетону в конструкціях протягом усього терміну, необхідного для гідратації цементу, тверднення і набуття міцності бетону в конструкціях.

Для підвищення експлуатаційних властивостей бетонів застосовували комплекси хімічних добавок, які включають в себе суперпластифікатор VC-1020UA і повітрявтягуючу добавку MixPlus. Результати дослідження властивостей бетонів наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Результати випробувань складів бетонів на різних цементях з комплексами пластифікуючих і повітрявтягуючих добавок.

Показники	Одиниця виміру	ПЦ П \A-Ш-400			
		ПЦ П \A-Ш-400	ПЦ П \A-Ш-400	ПЦ П \B-Ш-400	ПЦ П \B-Ш-400
Цемент	[кг/м ³]	375	375	375	375
В/Ц	[-]	0,42	0,38	0,38	0,38
Суперпластифікатор VC-1020UA	[%]	1,0	1,0	1,0	1,0
	[кг/м ³]	3,75	3,75	3,75	3,75
Повітрявтягуюча добавка MixPlus	[%]		0,02		0,02
	[кг/м ³]	0,00	0,07	0,00	0,07
ОК через 5 хв	[см]	24	22	24	23
Вміст повітря	%	3	5,5	2	7
ОК через 30 хв	[см]	22	20	18	18
Вміст повітря	%	3,3	6,6	2,5	6
R _{ст} 7 діб	[МПа]	38,6	36,1	47,5	46,1
Водопоглинання	%	3,38	3,35	2,68	2,71
R _{ст} 28 діб	[МПа]	62,0	57,8	69,6	59,7

Згідно стандартних вимог витрата в'язучого для гідротехнічних бетонів складає в середньому 450 кг + 100 кг золи-виносу на 1 м³ бетону. Результати наших досліджень свідчать про можливість значно знизити витрати цементу в середньому на 25-30%, наприклад, для бетону (B25, W8, F100) витрата цементу складає 350-380кг/м³. Застосування хімічних добавок на основі полікарбоксилатів дозволяє не тільки значно підвищити міцність, водонепроникність і сульфатостійкість бетону в конструкціях, а й значно знизити його собівартість.

Висновки. Отримані результати досліджень показали наявність наднормативних запасів характеристик гідротехнічних бетонів по міцності і водонепроникності, коли зниження витрат в'язучого на 150-250 кг/м³ дозволяє отримувати бетони класу В40, замість проектних В22,5, а водонепроникність W10 замість W6.

Все це разом дозволяє обґрунтувати нові витрати матеріалів для отримання гідротехнічних бетонів всіх використовуваних класів з витратами в'язучого менше ніж у пересічних бетонів, використовуваних сьогодні в практиці гідротехнічного будівництва.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Mehta P. K., Monteiro P. J. M. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. Third Edition. McGraw-Hill. / P. K. Mehta, P. J. M. Monteiro. – 2006. – 660 p. DOI: 10.1036/0071462899
2. Баженов Ю.М. Технология бетона. / Ю.М. Баженов - М.: Изд-во АСВ, 2003 – 500 с.
3. Neville, A. M. Properties of concrete / A.M. Neville. 5th ed / London, 2011. – 872 p.
4. Li Z. Advanced Concrete Technology. / Z. Li. John Wiley & Sons, INC., 2011. – 521 p.
5. Richard, P. and Cheyrezy M. (1995) "Composition of reactive powder concretes," Cement and Concrete Research 25(7). – pp. 1501–1511.
6. Ушеров-Маршак А.В. Бетоны нового поколения: основы получения и перспективы развития [Текст] / А.В. Ушеров-Маршак, В.П. Сопов // Научный вестник строительства. – 2009. - №55. - С. 231-239.
7. Корчагина, О.А. Проектирование состава тяжелого, легкого и силикатного бетона: учебное пособие / О.А. Корчагина, В.Г. Однолько. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.
8. Свод правил: «Конструкции бетонные гидротехнических сооружений. Правила производства и приемки работ». – Москва, 2016. – 68 с.
9. UsherovvMarshak A. V., Kabus' A. V. Calorimetric Monitoring of Early Hardening of Cement in the Presence of Admixtures. // Inorganic Materials, 2013, Vol. 49, No. 4, pp. 430–433.
10. Brandsstetr, I. et al., Possibilities of the Use of Isoperibolic Calorimetry for Assessing the

- Hydration Behavior of Cementitious Systems, Cem. Concr. Res., 2001, vol. 31, pp. 9411–9471.
11. Методическое пособие «Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов» / М. И. Бруссер, С. С. Каприелов, С. А. Подмазова, Л. А. Титова, А. В. Шейнфельд. М.: НИИЖБ, 2016. – 100с.
 12. American Concrete Institute (ACI) 211.1-91 Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (re-approved 2009).
 13. Белых И.М., Сопов В.П. Температурный мониторинг твердеющего бетона. / Научный вісник будівництва. Харьков: ПФ «Михайлов», № 62. – 2011. - с. 156-164.
 14. Белых И.М., Сопов В.П. Температурная трещиностойкость бетонов. / Научный вісник будівництва. Харьков: ПФ «Михайлов». - 2014, №4(78). - С.144-150.
 15. Ушеров-Маршак А. В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы / Строительные материалы, 2006, №8. – с. 8-12.
 16. Jadhav D. Compatibility of chemical admixture with cement: marsh cone test. / International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering, 2016. – Vol. 3, Issue-3. – pp. 99-103.

Сопов В.П., Синякин Д.А., Кабусь А.В. БЕТОНЫ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ. Показаны особенности бетонов для возведения гидротехнических сооружений. Практика использования сертифицированных сульфатостойких цементов связана с наличием агрессивных грунтовых и подземных вод, что вполне понятно, но в действительности, сертифицированные сульфатостойкие цементы не обладают в полной мере сульфатостойкостью, они только более устойчивы к серной коррозии чем обычные цементы. Решающее значение для сульфатостойкости бетона конструкций имеет количество цементного камня в бетоне, поскольку только он может корродировать в сульфатной среде. Приведены результаты подбора составов гид-

ротехнических бетонов. Показана целесообразность использования для всех гидротехнических конструкций цемент типа ПЦ-П/А-Ш-400 при гарантированной марке 400 и соответствующей активности. Обязательным условием является использование эффективных пластифицирующих и регулирующих количество вовлеченного воздуха добавок, а также обеспечение благоприятных температурно-влажностных условий для бетона в конструкциях в течение всего срока необходимого для гидратации цемента, твердения и набора прочности бетона в конструкциях.

Ключевые слова: гидротехнические бетоны, сульфатостойкость, водонепроницаемость, прочность, температурно-влажностные условия твердения, тепловыделение при гидратации.

Sopov V.P., Sinyakin D.A., Kabus' A.V. CONCRETE FOR CONSTRUCTION OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES. The features of concrete for the construction of hydraulic structures are shown. The practice of using certified sulfate-resistant cements is associated with the presence of aggressive groundwater and groundwater, which is understandable, but in reality, certified sulfate-resistant cements do not fully possess sulfate resistance, they are only more resistant to sulfur corrosion than conventional cements. Decisive for the sulfate resistance of concrete structures has the amount of cement stone in concrete, since only it can corrode in a sulfate medium. The results of the selection of hydrotechnical concretes are presented. The expediency of use for all hydraulic structures of cement type ПЦ-П/А-Ш-400 at the guaranteed mark 400 and corresponding activity is shown. A mandatory condition is the use of effective plasticizing and regulating amounts of air entrained admixtures, as well as providing favorable temperature and humidity conditions for concrete in structures during the entire period of cement necessary for cement hydration, hardening and strength of concrete in structures.

Key words: hydrotechnical concrete, sulfate resistance, waterproofness, strength, temperature and humidity conditions of hardening, heat evolution during hydration.