

## МОДИФІКОВАНІ БЕЗГІПСОВІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТИ ДЛЯ ВИСОКОФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЕТОНІВ

© Русин Б.Г., Саницький М.А., Шийко О.Я., 2010

**Показано можливість використання безгіпсових портландцементних композицій, що забезпечує отримання швидкотверднучих високофункціональних бетонів з підвищеною міцністю у ранньому віці та довговічністю. Проаналізовано вплив модифікованих безгіпсових портландцементів на властивості дрібнозернистого бетону.**

**Ключові слова:** безгіпсові портландцементи, високофункціональні бетони, дрібнозернисті бетони, хімічні модифікатори.

**Possibility of using gypsum-free portland cement compositions, which provides to obtain high performance concretes with higher durability was shown. The influence of new modified gypsum-free Portland cement on properties of fine-grained concrete have been analyzed.**

**Key words:** gypsum-free Portland cements, High Performance Concretes, fine-grained concretes, chemical modifiers.

**Вступ.** Інтенсивний розвиток технології бетону забезпечує зміну вимог до проектування та властивостей бетонних сумішей з урахуванням впливу найрізноманітніших технологічних і кліматичних факторів. В умовах сучасного будівництва перевагу віддають матеріалам, які володіють необхідною міцністю та довговічністю. Нині для бетонних конструкцій різних інженерних споруд все частіше застосовуються так звані високофункціональні бетони – High Performance Concrete (HPC). Такі бетони (з високими експлуатаційними властивостями) набули поширення у світовому будівництві із 80-х років ХХ століття. Основні принципи технології HPC-бетонів такі: використання високоактивних цементів; застосування добавок поліфункціональної дії для максимального розрідження бетонної суміші та зниження водоцементного відношення; створення оптимальної щільності за рахунок використання мікронаповнювачів; забезпечення належних умов тверднення бетону.

**Постановка проблеми.** Будівельний комплекс України підійшов до освоєння висотного будівництва, яке допускає зведення споруд висотою понад 150 метрів (понад 45 поверхів) та повністю відповідає світовим тенденціям архітектурного розширення мегаполісів. Тому актуальним є розроблення модифікованих портландцементів для високофункціональних швидкотверднучих бетонів, що володіють високою міцністю та технологічністю. Це забезпечить у кінцевому результаті отримання високоміцних композитів з підвищеною ранньою міцністю та довговічністю. Такі бетони перспективні для України не тільки у зв'язку зі зменшенням затрат на вкладання високорухливої бетонної суміші та скорочення термінів будівництва, а й за рахунок можливості максимального зменшення витрати цементу при хімічному модифікуванні.

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** Світовий обсяг споживання бетону великою мірою визначає рівень розвитку цивілізації. За даними Ю.М. Баженова і В.Р. Фалікмана [1], він становить 2 млрд. м<sup>3</sup> на рік. Разом з тим, бетон – складний штучний композиційний матеріал, можливості якого реалізовано не повною мірою. Сучасні можливості технології бетону розкриті при створенні так званих бетонів нового покоління, які концептуально об'єднані терміном “високофункціональні бетони” (High Performance Concrete – HPC). У роботах О. Едварда [2] під цим терміном розуміють бетони, що відповідають комплексу спеціальних взаємопов'язаних вимог щодо складу, технології і

властивостей, які при традиційних підходах не завжди досягаються. За визначенням, ці бетони мають повністю відповідати призначенню споруди та умовам її експлуатації. Інтерес до НРС у світі пов'язаний значно більшою мірою з їх довговічністю та економічністю, ніж з високою міцністю. За висновками вчених [3] прогнозована тривалість їх служби перевищує 100 років. Можливим є також отримання супердовговічних бетонів з терміном служби понад 500 років [1]. Зазначимо, що висока довговічність і міцність бетонів нового покоління забезпечується навіть при використанні високорухливих бетонних сумішей. Це визначає їх значні технологічні й економічні переваги порівняно з традиційними. На сучасному етапі розвитку технології підвищення довговічності бетонів нерозривно пов'язане зі зменшенням значень водоцементного відношення (В/Ц) за рахунок використання суперпластифікаторів (СП) та спеціальних видів цементів, що, безперечно, забезпечує отримання високих показників міцності. Проте питання забезпечення довговічності з регульованими показниками міцності, зокрема “традиційними” бетонами, для практики сучасного будівництва в Україні залишаються відкритими [4].

Зазначимо, що портландцемент – це продукт спільного помелу клінкеру з добавкою двоводного гіпсу, що вводиться для регулювання термінів тужавіння цементу. Спочатку всі цементы були безгіпсовими, а їхнє тужавіння сповільнювали додаванням води в млин. Нині в технології виробництва портландцементу введення двоводного гіпсу стало традиційним, при цьому часто не береться до уваги можливість заміни гіпсу іншими сповільнювачами тужавіння. Безгіпсовий портландцемент – гідравлічне в'язуче, виготовлене на основі портландцементного клінкеру, в якому основну функцію гіпсу (регулювання термінів тужавіння) виконує суміш синергічно-активного аніона (зазвичай поліелектроліт сульфонатів) і неорганічної солі (як правило,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Властивості тіста на основі таких цементів залежать від концентрацій добавок–замінників гіпсу. Безгіпсові портландцементи (БГПЦ) характеризуються спеціальними властивостями, що помітно відрізняють їх від інших в'язучих. Насамперед це швидкі темпи набору міцності при високій пластичності завдяки комплексу хімічних добавок, котрі вводяться замість гіпсу. Використання комплексної добавки, що містить органічний сповільнювач, пластифікатор і лужний активатор, дасть змогу отримати необхідні терміни тужавіння цементу, а згодом розробити тонкомолоті цементы з дуже високою ранньою міцністю [5].

Фундаментальні дослідження в цьому напрямі вперше виконали вчені Ф. Шквара та К. Немечко [5], які встановили, що замість гіпсу як добавку до тонкомолотого портландцементного клінкеру можна використовувати лігносульфонат кальцію. В цих роботах вперше запропоновано портландцемент з високою питомою поверхнею (600–900  $\text{m}^2/\text{kg}$ ). При цьому цементне тісто має водопотребу, на 30–40 % нижчу, а цементний камінь характеризується підвищеною міцністю і незначними деформаціями зсідання порівняно зі звичайним портландцементом. Використання такого в'язучого дає змогу отримувати бетони з покращеними будівельно-технічними властивостями. Дослідженнями міцності з низьким значенням В/Ц показано [7], що при введенні добавок лігносульфонату і карбонату калію у віці 1 доби міцність цементного каменю становить 102,8 МПа (В/Ц=0,20), а цементно-піщаного розчину – 47 МПа (В/Ц=0,25), що дає змогу зарахувати цей камінь до швидкотверднучих. Вплив вказаних добавок на терміни тужавіння цементного тіста сильно залежить від способу їх введення – тужавіння сповільнюється, якщо лігносульфонати і солі вводити спільно з водою замішування.

Одним із напрямів використання безгіпсового портландцементу з комплексними хімічними модифікаторами та тониною помелу клінкеру (250...350  $\text{m}^2/\text{kg}$ ) є бетонування в умовах від'ємних температур при використанні безпрогрівних методів. При цьому для активзації тверднення в'язучого необхідно вводити поташ. Крім того, бетонні суміші на безгіпсовому портландцементі з пониженим вмістом поташу відрізняються покращеною легковкладальністю і здатністю тверднути на морозі [6].

Нині налагоджено випуск модифікованого швидкотверднучого високоміцного цементу, який замість гіпсу містить регулятор тужавіння і відрізняється високою тониною помелу (380–720  $\text{m}^2/\text{kg}$ ). Застосування такого цементу забезпечує досягнення високої міцності бетонів у ранні терміни. Так, у віці 1 доби міцність бетону при В/Ц=0,4 та розчину при В/Ц=0,45 становить 40–45 і 15–25 МПа відповідно (витрата цементу 400  $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Початок тужавіння таких цементів – 30–40 хв [7]. Викорис-

тання швидкотверднучих бетонних сумішей на основі безгіпсового портландцементу є доцільним і виправданим, оскільки дає змогу пришвидшити процес будівництва.

Безгіпсові цементы характеризуються швидким набором ранньої міцності, що не характерно для звичайних портландцементів. У Польщі, наприклад, такі цементы позначають MPZ і значного поширення вони набули завдяки швидкому тужавінню та високій марочній міцності. Вже за 4 год тверднення цементы MPZ досягають міцності 30 МПа, а через 28 діб до 80 МПа. Властивості безгіпсових цементів визначають їх застосування. Для них характерна низька водопотреба, висока морозостійкість, здатність тверднути за від'ємних температур, підвищена корозійна стійкість, високе зчеплення зі сталеву арматурою та низька деформативність. Вони застосовуються при ремонтах та виготовленні бетонів несучих елементів бетонних та залізобетонних конструкцій, фундаментів під машини та устаткування, а також при будівництві злітно-посадкових смуг аеродромів, паркінгів для вантажівок тощо. Для підсилення колон, особливо нижніх поверхів, використовують спеціальні дрібнозернисті бетони класу В40, В45. Такі бетони повинні мати добру міцність, технологічність, корозійну стійкість, високу зносостійкість і стиранисть [5].

**Метою роботи** є дослідження можливості використання модифікованих безгіпсових портландцементів для високофункціональних бетонів з високими показниками ранньої та марочної міцності.

**Методи досліджень і матеріали.** Як вихідні матеріали для виконання роботи були використані безгіпсовий портландцемент модифікований (БГПЦМ) на основі портландцементу MPZ польського виробництва з фізико-механічними показниками: питома поверхня  $S_{\text{пит}}=625 \text{ м}^2/\text{кг}$ , залишок на ситі № 008 – 1 %, початок тужавіння – 2 год 5 хв, кінець – 4 год 35 хв; безгіпсовий портландцемент (БГПЦ та БГПЦ-1) на основі клінкеру ВАТ "Івано-Франківськцемент"; кварцовий пісок Ясинецького родовища Львівської області з модулем крупності  $M_{\text{кр}} = 1,47$ , середньою густиною –  $1420 \text{ кг}/\text{м}^3$ , пустотністю – 42 %, істинною густиною –  $2,61 \text{ г}/\text{см}^3$ , вмістом пилюватих та глинистих домішок – 1,4 %; стандартний пісок (ГОСТ 6139-91). Хімічний склад портландцементного клінкеру ВАТ "Івано-Франківськцемент" характеризується вмістом оксидів, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 23,38;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4,84;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 3,90;  $\text{CaO}$  – 63,92;  $\text{MgO}$  – 2,47;  $\text{SO}_3$  – 0,67;  $\text{R}_2\text{O}$  – 0,82. Мінералогічний склад клінкеру відображений вмістом мінералів, мас. %:  $\text{C}_3\text{S}$  – 62,20;  $\text{C}_2\text{S}$  – 15,18;  $\text{C}_3\text{A}$  – 6,50;  $\text{C}_4\text{AF}$  – 12,80.

**Результати досліджень.** Одним із способів підвищення ефективності використання безгіпсових цементів у технології бетонування є можливість їх модифікування. Під час виконання експериментальних досліджень визначено фізико-механічні властивості звичайного та модифікованого безгіпсового портландцементу та міцність дрібнозернистого бетону на їх основі. Показано водоредукуючий ефект комплексних модифікаторів, за рахунок якого створюється можливість отримання безгіпсових портландцементів для високофункціональних бетонів з високою ранньою та марочною міцністю.

Для дослідження процесів структуроутворення визначено нормальну густоту та терміни тужавіння портландцементних композицій з БГПЦ ( $S_{\text{пит}}=315 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;  $530 \text{ м}^2/\text{кг}$ ); БГПЦ-1 ( $S_{\text{пит}}=530 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) та БГПЦМ ( $S_{\text{пит}}=625 \text{ м}^2/\text{кг}$ ). Як видно із таблиці, зростання тонини помелу різко скорочує терміни тужавіння звичайного БГПЦ, який домелювався до заданої питомої поверхні у лабораторному вібротоліні. Для безгіпсового портландцементу БГПЦ ( $S_{\text{пит}}=315 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) початок тужавіння становить 6 хв, кінець – 13 хв. При підвищенні питомої поверхні до  $S_{\text{пит}}=530 \text{ м}^2/\text{кг}$  початок тужавіння скорочується до 5 хв, а вже для БГПЦ-1, котрий містить в своєму складі пластифікатор, початок збільшується до 25 хв. Нормальна густота цементного тіста на основі БГПЦ-1 становить 21 %. Водночас показано, що для БГПЦМ при питомій поверхні  $S_{\text{пит}}=625 \text{ м}^2/\text{кг}$  нормальна густота цементного тіста становить 22 %, початок тужавіння становить 2 год 5 хв, а кінець – 4 год 35 хв.

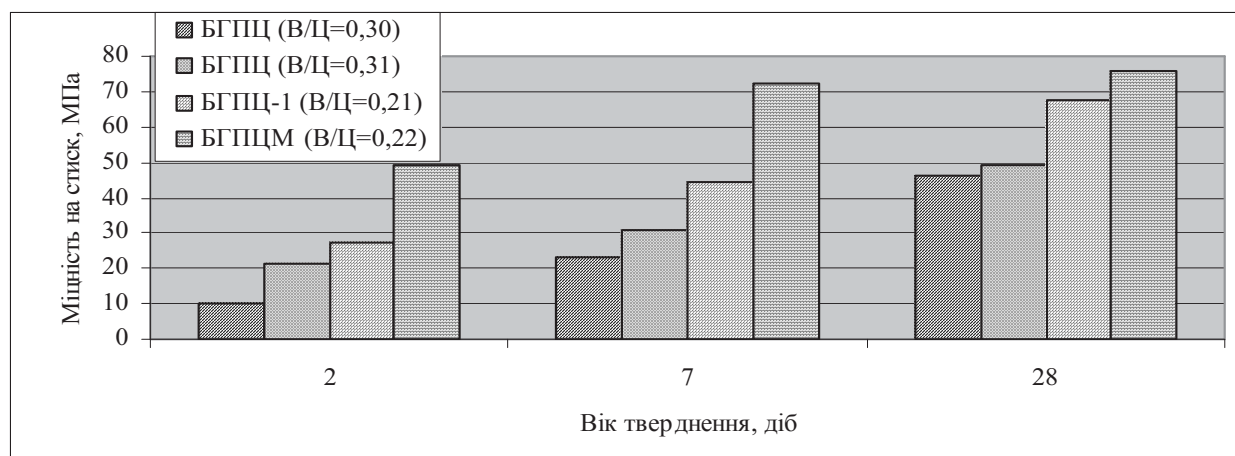
Аналіз фізико-механічних показників цементного каменю свідчить, що міцність у віці 2, 7 та 28 діб БГПЦМ становить відповідно 57,8; 70,1; 75,5 МПа, що вище на 22,7; 9,6 та 9,5 % відповідно, ніж у БГПЦ-1. За результатами визначення термінів тужавіння можна зробити висновок, що при однаковому часі приготування і транспортування бетонної суміші на основі БГПЦМ час її легковкладальності буде значно більшим, ніж бетонної суміші на основі БГПЦ. Висока міцність БГПЦМ зумовлена лужною активізацією та істотною пластифікацією цементного тіста, тобто суперпластифікацією цементів цього комплексу.

## Нормальна густина та терміни тужавіння безгіпсових портландцементів (тісто 1:0)

| Вид цементу | Питома поверхня, м <sup>2</sup> /кг | НГЦТ | Терміни тужавіння год-хв |        | Міцність на стиск цементного каменю* МПа, у віці діб |      |      |
|-------------|-------------------------------------|------|--------------------------|--------|------------------------------------------------------|------|------|
|             |                                     |      | початок                  | кінець | 2                                                    | 7    | 28   |
| БГПЦ        | 315                                 | 0,30 | 0–06                     | 0–13   | 16,7                                                 | 42,6 | 57,1 |
| БГПЦ        | 530                                 | 0,31 | 0–05                     | 0–12   | 18,4                                                 | 46,8 | 61,2 |
| БГПЦ-1      | 530                                 | 0,21 | 0–25                     | 0–50   | 44,7                                                 | 63,4 | 68,3 |
| БГПЦМ       | 625                                 | 0,22 | 2–05                     | 4–35   | 57,8                                                 | 70,1 | 75,5 |

\* зразки-кубики 2х2х2 см.

Порівняльними дослідженнями впливу безгіпсового портландцементу на основі МРЗ (БГПЦМ), БГПЦ-1 та звичайного безгіпсового цементу (БГПЦ) на фізико-механічні властивості дрібнозернистих бетонних сумішей (Ц:П=1:2, РК=110-115 мм) встановлено, що БГПЦМ забезпечує інтенсивніший набір як ранньої, так і марочної міцності порівняно зі звичайним БГПЦ та БГПЦ-1. Зазначимо, що БГПЦ-1 характеризується найнижчим водоцементним відношенням (В/Ц=0,21) порівняно з БГПЦ (В/Ц=0,3) та модифікованим безгіпсовим портландцементом БГПЦМ (В/Ц=0,22). Проте результатами випробувань встановлено (див. рисунок), що міцність дрібнозернистого високофункціонального бетону на основі БГПЦМ на 43,9, 38,4 та 10,3 % відповідно вища за міцність бетону на основі БГПЦ-1 та у віці 2, 7 та 28 діб становить 57,8; 70,1 та 75,5 МПа.



Кінетика набору міцності дрібнозернистого бетону на основі безгіпсових портландцементів

Результати випробувань дрібнозернистого бетону свідчать, що використання безгіпсових цементів на основі МРЗ (БГПЦМ) забезпечує зростання ранньої міцності бетону майже в 1,8 раза порівняно зі звичайними безгіпсовими цементами та дає змогу одержувати бетони класу В60 і вище. Водоредукуючий ефект, який при застосуванні БГПЦМ становить 30 % порівняно зі складом бетону на основі БГПЦ, сприяє меншій усадці бетону та підвищує його корозійну стійкість.

Отже, в результаті досліджень встановлено, що комплексні добавки-модифікатори, що входять до складу БГПЦМ, створюють можливість отримати модифіковані низькопористі безгіпсові цементами із заданими будівельно-технічними властивостями. За рахунок істотного (30 %) водоредукуючого ефекту комплексних модифікаторів створюється можливість отримання безгіпсових портландцементів для високофункціональних бетонів з високою ранньою та марочною міцністю.

**Висновок.** Розроблення модифікованих безгіпсових портландцементів забезпечує можливість одержання спеціальних швидкотверднучих бетонів нової генерації. Це дасть змогу швидко, економно та якісно здійснювати будівництво, рятувати конструкції від руйнування, запобігати аваріям і впродовж тривалого часу надійно експлуатувати відповідальні споруди в складних

умовах. Крім цього, використання БГПЦМ дає змогу за рахунок істотного зниження водопотреби одержати високотехнологічні бетонні суміші з підвищеною ранньою та марочною міцністю, високими експлуатаційними властивостями, зокрема довговічністю, низькими коефіцієнтом дифузії і стиранистю, надійними захисними властивостями відносно сталевих арматур, високою хімічною стійкістю. Прискорений набір ранньої міцності бетонів на основі БГПЦМ дасть змогу скоротити терміни витримання бетону в опалубці, що, своєю чергою, збільшить її оборотність та пришвидшить темпи будівництва. Безгіпсові портландцементи є перспективними в'язучими, оскільки існує можливість застосування їх при бетонуванні в умовах від'ємних температур під час використання безпрогрівних методів. Бетонні суміші на безгіпсовому портландцементі відрізняються більшою легковкладальністю і досить інтенсивно тверднуть на морозі, проте необхідні подальші дослідження в галузі використання їх при виготовленні високофункціональних бетонів.

1. Баженов Ю.М., Фаликман В.Р. *Новый век: новые эффективные бетоны и технологии // Бетон на рубеже третьего тысячелетия / Материалы 1-й Всерос. конф. по проблемам бетона и железобетона, 9–14 сентября 200. – М.: Ассоциация “Железобетон”, 2001. – Кн. 1. – С. 91–101.* 2. Edward G., Nawy P. *Fundamentals of High performance concrete / Sec. Ed., Willy. – 2001.* 3. Рунова Р.Ф. *Бетоны нового поколения – актуально вже сьогодні // Будівельний журнал №2 (29)/ 2008. – С. 32.* 4. Рунова Р.Ф., Гоц В.І., Назаренко І.І., Саницький М.А. та ін. / *Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво. – К.: УВПК “ЕксОб”, 2008. – 360 с.* 5. Skvara F., Nemecek K. / *Properties of gypsum-free Portland cement pastes with a low water-cement ratio // Ceramics ISSN 0862-5468 // 1996, vol. 40, № 1. – P. 36–40 (8 ref.).* 6. Штинова Л.Г., Островський О.Л., Саницький М.А. та ін. *Бетоны для строительных работ в зимних условиях. – Львов: Вища шк., 1985. – 80 с.* 7. Peukert S. *Cementy Specjalne podstawy kształtowania ich właściwości. – Opole. – 1990. – P. 101–105.*

УДК 624.01

М.В. Савицький, Т.Ю. Шевченко, А.О. Титюк, О.М. Савицький  
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпропетровськ

## МЕТОДИКА ОБСТЕЖЕННЯ ТА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

© Савицький М.В., Шевченко Т.Ю., Титюк А.О., Савицький О.М., 2010

**Висвітлено методику обстеження та оцінки технічного стану залізобетонних конструкцій відповідальних об'єктів.**

**Ключові слова:** оцінка технічного стану, залізобетонні конструкції, відповідальні об'єкти.

**This paper is devoted to the solving task of inspection and estimation of technical state of reinforced concrete of responsible buildings.**

**Keywords:** estimation of technical state, reinforced concrete, responsible buildings.

**Вступ.** Нині в Україні актуалізується проблема подовження термінів експлуатації діючих АЕС. Для цього необхідно оцінювати технічний стан як технічного устаткування, так і будівельних конструкцій, що забезпечують надійність експлуатації АЕС.

В умовах дефіциту бюджетних коштів необхідне розроблення кількісної методики діагностики та оцінки технічного стану конструкцій, що забезпечує достовірні оцінки за мінімуму затрат.