

## МОДИФІКОВАНІ БЕТОНИ ДЛЯ МОНОЛІТНОГО БУДІВНИЦТВА

© Саницький М.А., Пристай В.А., Дармограй О.Я., 2007

**Показано можливість використання модифікуючих добавок для покращання реологічних властивостей бетонних сумішей та фізико-механічних властивості бетонів на їх основі.**

**Possibility of modifying admixtures for improving reological properties of concrete mixes and phisico – reological properties mecanical properties of concrete on their basis was shown.**

*Вступ.* Різноманітність архітектурного вигляду будівель, об'ємно-планувальних та конструктивних рішень забезпечується монолітним будівництвом, оскільки воно є більш мобільним, гнучким та економічним. Саме тому обсяги монолітного будівництва в різних країнах світу сьогодні досягають 55–80 % [1]. Одним із перспективних напрямків розвитку у цій галузі є виробництво цементів та бетонів із застосуванням модифікаторів, які дають можливість у широкому діапазоні регулювати їхні властивості. Сьогодні у багатьох промислово розвинутих країнах частка бетону, який укладається із застосуванням хімічних добавок, досягає 90–100 % [2].

Одним з найбільш перспективних напрямків технічного прогресу в технології бетону є формування заданої структури цементного каменю для підвищення його стійкості та покращання комплексу експлуатаційних властивостей бетону. Ці завдання здебільшого можуть бути розв'язані за допомогою комплексних модифікаторів пластифікуючо-прискорювальної дії на основі різних поверхнево-активних речовин (ПАР) та електролітів, які можуть істотно впливати на фізико-хімічні процеси структуроутворення та тверднення в'язучих речовин, а внаслідок цього і на технологічні властивості бетонних сумішей та фізико-механічні властивості бетону.

**Постановка проблеми.** Під час бетонування монолітних конструкцій необхідно використовувати швидкотверднучі портландцементи високих марок. Використання цементів низьких марок призводить до їх перевитрати в бетоні та збільшення термінів витримування конструкцій в опалубці. Варто зазначити, що портландцементи загальнобудівельного призначення за підвищеної рухливості характеризуються уповільненим набором міцності в ранній період. Крім того, висока витрата портландцементу в бетонних сумішах призводить до деформацій усадження бетонів, що можуть перевищувати допустимі норми. Внаслідок цього на поверхні бетону з'являються тріщини і з часом під дією  $\text{CO}_2$  повітря кальцію гидроксид, що створює лужність ( $\text{pH} > 11,8$ ) робочого середовища арматури в залізобетоні, переходить у кальцію карбонат. Внаслідок цього процесу пасивуючий шар бетону ушкоджується і сталь підлягає корозії. Додаткову небезпеку для арматури становлять агресивні речовини, зокрема хлориди, що також руйнують пасивуючий шар на поверхні металу. Довговічність арматури в залізобетоні значною мірою визначається лужністю і щільністю бетону, що залежать від технології бетонування та якості цементної системи.

Оскільки більшість портландцементів одержують в Україні за відкритим циклом помелу з питомою поверхнею 260–320  $\text{m}^2/\text{kg}$ , тому значна частина клінкерного фонду під час тверднення в нормальних умовах не використовується. Одержанню виробів з високою ранньою і марочною міцностями на основі таких портландцементів сприяють ущільнення бетонної суміші вібруванням і тепловолога обробка. При цьому істотні енерговитрати раніше компенсувалися низькими цінами на енергоносії. У той самий час на сучасному етапі таке виробництво є недостатньо перспективним і все ширшого впровадження здобуває монолітне будівництво, за якого використовуються бетони з  $\text{OK}=15\text{--}25$  см.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом значна увага приділяється дослідженням із визначення закономірностей направлено регулювання параметрів системи на стадії взаємодії цементу з водою, що є обов'язковою умовою створення бетонів із заданими будівельно-технічними властивостями. Процеси, які визначають характер взаємодії, переважно обумовлюються властивостями розвинених поверхонь – молекулярними силами, які діють на межі розділу фаз [1, 2]. Можливість керувати цими процесами лежить в основі направлено регулювання такої важливої технологічної властивості бетонної суміші, як збереження її рухливості в часі. Істотний вплив на таке структуроутворення цементної системи та формування структури бетону з необхідними властивостями визначає характер модифікування продуктів гідратації цементу.

Аналіз проблем монолітного будівництва свідчить, що на сучасному етапі завдяки всебічному застосуванню модифікаторів нової генерації стала можливою еволюція бетонів від звичайних до високофункціональних. При цьому бетон розглядається як композиційний матеріал із заданими параметрами, які потрібні для ведення монолітного бетонування та забезпечення довговічності бетонних і залізобетонних конструкцій. Величезний потенціал модифікування бетонних сумішей створює раціональні підстави для розробки монолітних бетонів нової генерації. Використання модифікаторів забезпечує ефективність вкладання бетону, розпалубку монолітних споруд у якнайкоротші терміни за достатньої якості останніх, виготовлення тонкостінних густоармованих конструкцій підвищеної міцності.

Монолітне бетонування з використанням портландцементів загальнобудівельного призначення викликає необхідність застосування комплексних модифікаторів поліфункціональної дії, що поєднують властивості прискорювачів, пластифікаторів, стабілізаторів тощо, які забезпечують тверднення бетонів також за понижених додатних і від'ємних температур, і це дасть змогу одержати вироби з поліпшеними будівельно-технічними властивостями, зокрема з підвищеною міцністю та довговічністю.

Питанням застосування хімічних додатків під час виробництва бетону займалися В.Г. Батраков, П.А. Глубіш, Р.Ф. Рунова, А.В. Ушеров-Маршак та ін. [3–6]. Сьогодні в Україні нагромаджений позитивний досвід зі створення конкурентоспроможних пластифікаторів вітчизняного виробництва (системи додатків Релаксол, Амкіроз, Дофен, УПБМ та ін.). Одним із лідерів світового виробництва ефективних суперпластифікаторів та цілої гами інших додатків до бетонів є німецька фірма MC Bauchemie – незалежний виробник будівельної хімії. Ця фірма має представництва в багатьох країнах світу, зокрема в Польщі, Угорщині, а останнім часом і в Україні. Від початку існування фірма MC Bauchemie отримала міжнародне визнання завдяки впровадженню нових продуктів і технологій. При цьому фірма проводить технічний нагляд у будівництві, що гарантує високу якість будівельних об'єктів. Використання модифікаторів забезпечує ефективність вкладання бетону, розпалубку монолітних споруд у якнайкоротші терміни за достатньої якості останніх, виготовлення тонкостінних густоармованих конструкцій підвищеної міцності, можливість проведення будівельних робіт як у зимових, так і в сухих спекотних умовах.

Високоєфективний розріджувач бетонної суміші під технічною назвою “Амкіроз” (ТУУВ.2.7-19069017.001-98) розроблений у Київському національному університеті технологій та дизайну, – це поверхнево-активна речовина, яка має активні карбоксильні і гідроксильні групи, а тому належить до пластифікаторів карбоксильного типу. “Амкіроз” – препарат багатофункціонального призначення, який дає змогу в широких межах спрямовано змінювати як технологічні властивості бетонної суміші, так і фізико-механічні властивості бетону. “Амкіроз” стійкий за різних рН, не має негативного впливу на людину і довкілля [5]. “Амкіроз” завдяки наявності великої кількості гідрофільних (карбоксильних і гідроксильних) груп легко адсорбується на поверхні цементу, що призводить до різкого зниження міжфазної поверхневої енергії системи цемент-вода і відповідно до збільшення потенціалу змочування. Усе це сприяє диспергуванню частинок цементу, стабілізації водно-цементної суспензії, а також різкому зниженню структурної в'язкості бетонної суміші, тобто збільшенню його рухливості і легковкладальності, що приводить до зниження трудомісткості і енерговитрат на виготовлення, вкладання та ущільнення бетонної суміші, а також до покращання якості монолітного будинкобудування.

**Експериментальні дослідження.** Метою цієї роботи є визначення впливу добавок поліфункціональної дії типу “Амкіроз” та “Релаксол” на реологічні властивості бетонної суміші та фізико-механічні властивості бетону.

У роботі використовувалися портландцемент ПЦ ІІ/А-К М-400 ВАТ “Миколаївцемент”, пісок Ясинецького родовища з  $M_k = 1,45$ , щебінь Вірьовського родовища фракції 5–20 мм.

Як модифікатори поліфункціональної дії використано комплексний хімічний додаток поліфункціональної дії “Релаксол-СУПЕР” та хімічний додаток “Амкіроз” – 38,4 % водний розчин).

Для умов виробництва монолітного залізобетону за централізованого виробництва бетонних сумішей однією з найважливіших є здатність до збереження заданої рухливості. Сучасні технології бетонування вимагають застосування високорухливих бетонних сумішей з часом використання до 3 – 4 год. Як правило, бетонна суміш із заданою рухливістю протягом часу, більшого, ніж година, стає практично непридатною до вкладання у відповідні конструкції. У той самий час випуск сумішей з більшою пластичністю за рахунок збільшення витрати цементу і води на практиці негативно впливає на будівельно-технічні властивості затверділого бетону.

Пластифікуючі добавки типу ЛСТ, суперпластифікатори СНФ (марка С-3) та ПКС (BV, FK), забезпечуючи індекс водоредукування цементного тіста від 4 до 26 %, за пониження водопотреби виступають як прискорювачі тверднення. Разом з тим за підвищеної рухливості суміші такі добавки, як правило, сповільнюють кінетику набору міцності пластифікованих бетонів. При цьому часто виникає проблема ефективності пластифікаторів та їх сумісності з портландцементними системами. Дослідженнями впливу пластифікуючих добавок на властивості важких бетонів встановлено, що за  $V/C=const$  пластифікатор І генерації – ЛСТ забезпечує збільшення рухливості бетонної суміші лише в межах марки Р2.

У зв'язку з цим значний практичний інтерес являє собою вивчення зміни рухливості бетонної суміші на основі портландцементу, модифікованого комплексними добавками системи “Релаксол”.

З цієї метою виготовлена бетонна суміш БСГ В20 Г4 номінального складу 1:1,5:3,2  $V/C=0,45$  на основі портландцементу ПЦ ІІ/А- Ш- 400 ВАТ “Миколаївцемент”, модифікованого добавками “Релаксол-СУПЕР” у кількості 1,5 % від маси цементу. Як показали результати досліджень, використання в складі бетонної суміші комплексного модифікатора забезпечує підвищену її рухливість (марка за легковкладальністю Р4) за зниженої водопотреби ( $V/C=0,45$ ). Осад конуса свіжовиготовленої суміші становить 17 см, тоді як через 2 год цей показник становить вже 16 см. Отже, використання модифікатора в складі бетонної суміші запобігає втраті рухливості бетонної суміші, що дає змогу використовувати його під час приготування товарного бетону.

При дослідженні бетонних сумішей на основі портландцементу без додатків і модифікованого додатком “Релаксол-СУПЕР” у кількості 1,2 мас. % встановлено, що використання комплексного модифікатора дає змогу для досягнення марки за легковкладальністю Р4 зменшити кількість води замішування на 30 % порівняно з бетонною сумішшю без добавки. Як видно з рис. 1, використання комплексного хімічного додатка “Релаксол-СУПЕР” дає змогу підвищити міцність бетону в нормальних умовах тверднення у 1,7 раза через 3 доби та в 1,5 раза – через 28 діб порівняно з бетоном без додатків, при цьому через 28 діб міцність модифікованого бетону становить 42,0 МПа.

Дослідження бетону, що тверднув в умовах знакозмінних температур за середньодобових температур повітря від  $-7$  до  $+5^{\circ}\text{C}$ , свідчить про сповільнення його тверднення. При цьому виникають негативні явища, викликані деформаціями розширення за фазових переходів води.

Перебіг реакцій гідратації портландцементу в умовах негативних температур забезпечується за рахунок зниження водопотреби, а відповідно і температури замерзання рідкої фази бетонної суміші, а також прискорення гідратації портландцементу і виділення теплоти гідратації.

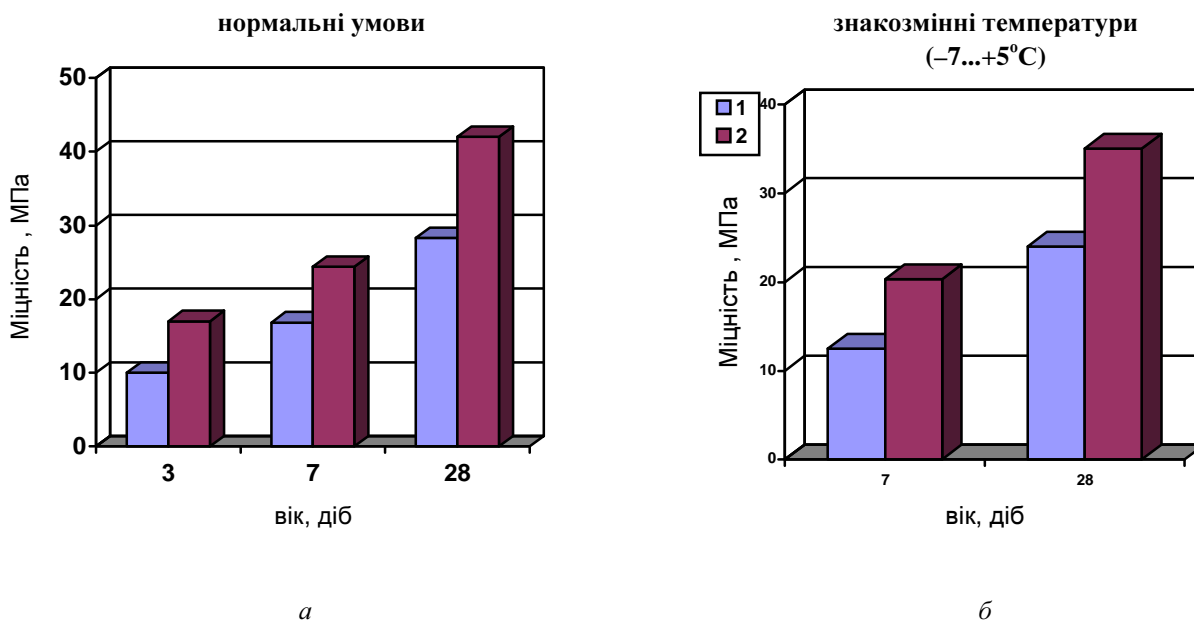


Рис. 1. Міцність бетону без додатка (а) і з додатком “Релаксол-СУПЕР” (б) за витрати портландцементу 330 кг/м<sup>3</sup>

Варто відзначити, що натрію тіосульфат і роданід, що входять до складу додатків системи “Релаксол”, характеризуються протиморозною і прискорювальною дією. Введення сульфованих нафталінформальдегідних поліконденсатів до складу комплексного модифікатора забезпечує, з одного боку, істотне зменшення водопотреби, а з другого, – створення високорухомих бетонних сумішей, що уможливило використовувати комплексний модифікатор “Релаксол-СУПЕР” для виготовлення монолітного бетону, зокрема в зимових умовах. Так, в умовах від’ємних і понижених додатних температур використання модифікатора “Релаксол-СУПЕР” забезпечує одержання бетону класу В25, у той час, як клас бетону без додатка становить В15-В20.

У широких межах спрямовано змінювати як технологічні властивості бетонної суміші, так і фізико-механічні властивості бетону дає змогу препарат багатофункціонального призначення “Амкіроз”. Цей препарат, стійкий за різних рН, не має негативного впливу на людину і навколишнє середовище, завдяки наявності великої кількості гідрофільних (карбоксильних і гідроксильних) груп, легко адсорбується на поверхні цементу, що призводить до різкого зниження міжфазної поверхневої енергії системи цемент-вода і відповідно до збільшення потенціалу змочування [5]. Усе це сприяє диспергуванню частинок цементу, стабілізації водно-цементної суспензії, а також різкому зниженню структурної в’язкості бетонної суміші, тобто збільшенню його рухливості і легковкладальності. Це призводить до зниження трудомісткості і енерговитрат на виготовлення, вкладання та ущільнення бетонної суміші, а також до покращання якості монолітного будинкобудування.

Випробування включали визначення фізико-механічних та реологічних властивостей дрібнозернистого бетону (Ц:П=1:2) та литого бетону (Ц:П:Щ=1:1,3:3,3) на основі портландцементу ПЦ II/A-K M-400 ВАТ “Миколаївцемент”, модифікованого додатками. Як модифікатори поліфункціональної дії використано хімічний додаток “Амкіроз” у вигляді 38,4 % водного розчину.

Як бачимо з рис. 2, введення “Амкірозу” в бетонну суміш у кількості 0,6; 0,8 та 1 % від маси цементу дає змогу одержати високорухливу бетонну суміш (ОК=18–22 см) за одночасного зменшення витрати води замішування на 15 %. “Амкіроз” завдяки наявності великої кількості гідрофільних (карбоксильних і гідроксильних) груп легко адсорбується на поверхні цементу, що призводить до різкого зниження міжфазної поверхневої енергії системи цемент-вода і відповідно до збільшення потенціалу змочування. Усе це сприяє диспергуванню частинок цементу, стабілізації водно-цементної суспензії, а також різкому зниженню структурної в’язкості бетонної суміші, тобто збільшенню її рухливості та легковкладальності, що призводить до зниження працемісткості та

енерговитрат на виготовлення, укладання і ущільнення бетонної суміші, а також до підвищення якості монолітного будівництва.

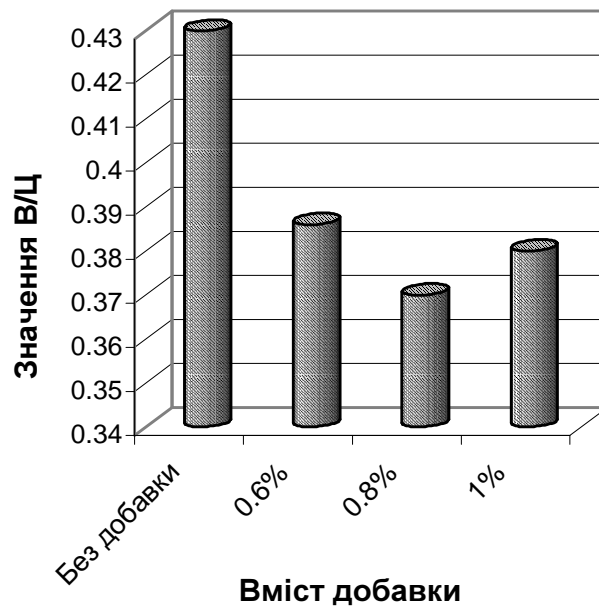


Рис. 2. Зміна В/Ц залежно від концентрації додатка “Амкіроз” у складі бетонної суміші

Зниження водоцементного відношення у бетонній суміші приводить до утворення міцніших коагуляційних і кристалічних структур, а збільшення концентрації додатка “Амкірозу” сприяє покращанню технологічних властивостей бетонної суміші. При цьому через 3 доби тверднення міцність бетону з додатком 0,6–1 мас. % “Амкіроз” на 20–28 % вища, ніж для бетону без додатків, через 7 діб міцність зростає на 24 % порівняно з контрольним зразком, а через 28 діб цей показник становить 15–16 % (рис. 3).

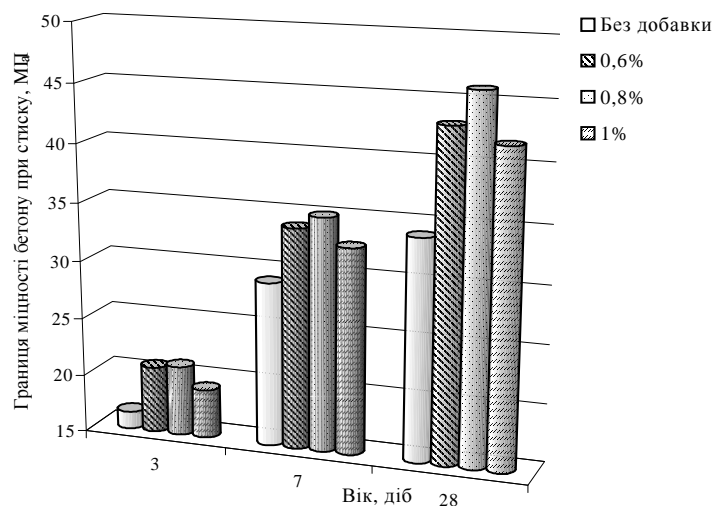


Рис. 3. Міцність бетону без додатків із різною концентрацією додатка “Амкіроз”

Також необхідно зазначити, що міцність дрібнозернистого бетону з додатком “Амкіроз” через дві доби тверднення на 12 % вища, ніж для бетону без додатків, а через 7 і 28 діб – відповідно на 15 і 26 %. Разом з тим під час введення додатка 1,0 мас. % “Амкіроз” показники міцності дещо зменшуються (рис. 4).

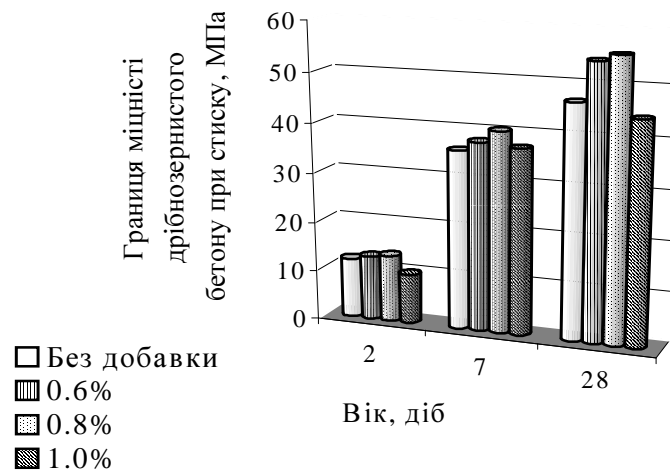


Рис. 4. Міцність дрібнозернистого бетону без додатка із різною концентрацією додатка “Амкіроз”

Отже, фізико-хімічне модифікування властивостей бетонної суміші за рахунок використання модифікаторів різної природи та призначення стало основним напрямком у вирішенні проблем збірного та монолітного будівництва. У зв'язку зі зростаючими обсягами будівництва з монолітного бетону в цивільному, гідротехнічному та транспортному будівництві на передній план висуваються такі вимоги: необхідна рухливість, довготривале зберігання властивостей бетонної суміші в часі, висока міцність, морозо- та корозійна стійкість бетону. Такі властивості можуть досягатися під час використання багатокомпонентних додатків поліфункціональної дії.

**Висновок.** Введення модифікуючих додатків до складу бетонної суміші здійснює істотний вплив на фізико-механічні властивості бетону, при цьому головна роль у зміні цих властивостей за інших рівних умов належить виду та вмісту цих додатків. Використання ефективних суперпластифікаторів, зокрема Амкіроз та Релаксол-СУПЕР, для бетонних сумішей з підвищеною рухливістю забезпечує покращання будівельно-технічних властивостей модифікованих бетонів, зокрема забезпечує високі показники ранньої та кінцевої міцностей, що визначає відповідні експлуатаційні характеристики будівельних конструкцій та значною мірою сприяє вирішенню проблем монолітного будівництва.

1. Мхитарян Н.М., Бадеян Г.В., Малацідзе Є.Г. Новая технология в монолитном домостроении / Всеукр. наук.-тех. конф. – К.: НДІБМВ, 2002. – С. 42–50. 2. Батраков В.Г. Теория и перспективные направления развития работ в области модифицирования цементных систем // Цемент и его применение. – 1999. – №5/6. – С.14–19. 3. Феднер Л.А. Влияние строительно-технических средств цементов на свойства бетонных смесей и бетонов // II Международное совещание по химии и технологии цемента. – Т. 2. – М.: “П-Центр”, 2000. – С. 107–119. 4. Ушеров-Маршак А.В. Тенденции технологии бетона / Всеукр. наук.-тех. конф. –К.: НДІБМВ, 2002. – С. 9–14. 5. Глубіш П.А. Амкіроз – новий високоефективний розріджувач бетонної суміші / Будівництво України. – № 4. – К., 2001. – С. 24–31. 6. Система химических добавок в бетоны и строительные растворы “Релаксол”/ Н.П. Синайко, А.П. Лихопуд, А.Г. Сиякин и др. / Будівництво України. – 2000. – № 5. – С. 30–34. 7. Комплексные модификаторы для цементных систем на основе тиосульфата и роданида натрия / М.А. Саницький, У.Д. Маруцак, М.М. Чемерис, В.А. Пристай // Материалы II Междунар. конф. “Бетон и железобетон. Пути развития”. – Т.6. – М.: Дипак, 2005. – С. 130–140.