

І. І. Кіракевич, М. А. Саницький, Р. В. Чайковська
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельного виробництва

ТЕХНОЛОГІЯ САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ БЕТОНІВ, ЩО ТВЕРДНУТЬ У РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВАХ

© Кіракевич І. І., Саницький М. А., Чайковська Р. В., 2015

Наведено особливості монолітного бетонування в зимових та сухих спекотних умовах та розглянуті актуальні питання технології приготування самоущільнювальних бетонів на основі суперпластифікованих цементуючих систем, що поєднує знання закономірностей структуроутворення і модифікування портландцементних композицій „портландцемент – активні мінеральні добавки – мікронаповнювачі – суперпластифікатор – прискорювачі тверднення” для пошуку раціональних вирішень забезпеченості технологічних та експлуатаційних властивостей бетону в умовах зміни факторів його складу, технології й експлуатації. Результатами досліджень встановлено, що використання суперпластифікованих цементуючих систем дає змогу направлено керувати технологічними властивостями і кінетикою структуроутворення та створити міцну структуру бетону з покращеними будівельно-технічними властивостями під час тверднення в різних температурних умовах. Розроблено технологічні рішення приготування суперпластифікованих цементуючих систем, які дають змогу вирішувати проблему одержання самоущільнювальних бетонів на їх основі. При цьому створюється можливість раннього навантаження конструкцій, скорочення виробничого циклу, збільшення оборотності опалубки та прискорення зведення монолітних будівель і споруд у різних температурних умовах.

Ключові слова: монолітне бетонування, температурні умови, технологія самоущільнювальних бетонів.

In the article the features of reinforced concrete hardening at different temperature conditions and the current issues of preparation technology of Self-Compacting Concretes (SCC) on the basis of superplasticized cementitious systems, combining knowledge of structure and modifying Portland cement compositions “Portland cement – active mineral additives – microfiller – superplasticizer – accelerator of hardening” to search for rational making provision of technical and building properties of concrete in the changing factors of its composition, technology and exploitation are shown. The results of the studies found that the use of the superplasticized cementitious systems allows to influence on technological properties and kinetics of structure formation and create concrete structure with improved construction and technical properties at a different temperature conditions. Technological solutions designing of superplasticized cementitious systems that solves the problem of obtaining the Self-Compacting Concretes (SCC) on their basis are established. This creates an opportunity allows to solve the problem of obtaining for enabling early loading, reducing the production cycle, increasing turnover and formwork acceleration of monolithic buildings and structures at different temperature conditions.

Key words: reinforced concrete, temperature conditions, technology of Self-Compacting Concretes.

Вступ

Концепція розвитку та самовдосконалення технології будівельного виробництва полягає в комплексному поєднанні складових елементів: будівельні матеріали та конструкції, методи і способи виробництва робіт, організація, планування і управління виробництвом, контроль якості

будівельно-монтажних робіт, які тісно взаємопов'язані між собою та реалізують найоптимальніші технології, що безперервно розвиваються. Будівельно-технологічна система виготовлення бетонів нової генерації складається з кількох рівнів розвитку. Перехід на вищий рівень технологій відбувається у разі інноваційного прориву в одному або декількох факторах технологічного ланцюга, коли кількість переходить у нову якість. Динамічний розвиток і поява нових інженерних ідей, модернізація будівництва, впровадження інновацій і нанотехнологій сприяє прогресу в галузі будівництва та вдосконалення якості у всіх елементах і ланках технологічного ланцюга.

Враховуючи ці чинники, у будівництві складних інженерних споруд все ширше впроваджуються самоущільнювальні бетони (Self-Compacting Concrete – SCC), пріоритетними вимогами до яких є покращені технологічні показники бетонної суміші – рухливість, в'язкість, стійкість до розшаровуваності, нівелювання у густоармованих конструкціях. До самоущільнювальних бетонів також висувають підвищені вимоги щодо експлуатаційних характеристик, що забезпечує можливість раннього навантаження конструкцій, скорочення виробничого циклу, збільшення оборотності опалубки, прискорення зведення монолітних будівель і споруд в різних умовах тверднення. З одного боку, поширення самоущільнювальних бетонів обмежується високою вартістю полікарбонатів, однак використання цих добавок дає змогу відмовитися від віброущільнення, що своєю чергою зменшує енерговитрати і економить час, покращуючи санітарно-гігієнічні умови праці. Безвібраційна технологія бетонування настільки знижує рівень шумового впливу на людину і навколишнє середовище, що заводи залізобетонних виробів можна розміщувати в урбанізованих міських районах.

Разом з тим, в зимовий період та під час монолітного бетонування в сухих спекотних умовах часто збільшуються терміни будівництва. Тверднення портландцементу за від'ємних температур супроводжується інтенсивним льодоутворенням, що призводить до виникнення незворотних структурних деформацій і руйнування цементного каменю. У сухих спекотних умовах цемент швидко тужавіє, що зумовлює погіршення легковкладальності бетонної суміші під час транспортування внаслідок гідратації портландцементу і втрати частини води під час випаровування. Тому в технології сучасного будівництва під час монолітного бетонування актуальною проблемою є одержання самоущільнювальних бетонів з високими реологічними і експлуатаційними властивостями, які визначають їх довговічність за понижених додатних, від'ємних температур та в сухих спекотних умовах з мінімальними енергетичними, матеріальними і трудовими витратами.

Постановка проблеми

Необхідність підвищення рівня якості бетону і його надійності в умовах зростання економічних, екологічних та інших втрат від прийняття неоптимальних інженерних рішень призводить до потреби вдосконалення методів експериментального пошуку технологій одержання самоущільнювальних бетонів на основі багатокомпонентних цементних систем з прогнозованими властивостями. Для пошуку і обґрунтування вибору складу бетону підвищеної якості доцільним є науковий підхід, що поєднує сучасні концепції будівельного матеріалознавства в галузі структуроутворення та модифікування цементних систем, математичного моделювання і оптимізації багатокомпонентних композиційних матеріалів.

Спорудження монолітних конструкцій у сухих спекотних та зимових умовах стримується через недостатню швидкість набирання міцності, виникнення незворотних структурних деформацій і руйнування цементного каменю та бетону. Узагальнення результатів досліджень у галузі технології монолітного бетонування свідчить про необхідність реалізації ефективного наукового підходу технологій будівельного виробництва, що поєднує теоретичні основи модифікування та розроблення суперпластифікованих портландцементних композицій, а також дає змогу направлено керувати технологічними властивостями та кінетикою структуроутворення для забезпечення одержання самоущільнювальних бетонів з необхідними будівельно-технічними характеристиками в різних температурних умовах тверднення.

Аналіз останніх джерел і публікацій

Процес монолітного бетонування передбачає виготовлення і транспортування бетонної суміші, установа опалубки, вкладання бетонної суміші та арматурні роботи, подальший догляд за бетоном, що твердне [1]. Бетонна суміш для монолітного бетонування повинна відповідати нормативним вимогам технології за рухливістю і однорідністю, міцністю, а також вимогам проекту за складом. Під час виробництва монолітного залізобетону, влаштування високоміцних безшовних підлог, торкретбетонування, реставрації та підсилення конструкцій широкого застосування набуває самоущільнювальний бетон, що характеризується здатністю до ущільнення під дією власної ваги, повністю заповнюючи форму без вібрації і сегрегації навіть у густоармованих конструкціях [1, 2].

Аналіз численних досліджень свідчить, що основне завдання проведення монолітних бетонних робіт полягає у використанні раціональних методів приготування бетонних сумішей, їх транспортування, вкладання та догляду за бетоном, при яких досягаються запроєктовані фізико-механічні характеристики незалежно від температури й вологості навколишнього середовища [3]. Під час бетонування в зимових умовах (середньодобова температура повітря нижче ніж +5 °С, а мінімальна добова температура нижче ніж 0 °С) необхідно забезпечити досягнення бетоном критичної міцності, яка гарантує збереження структури і подальше тверднення після розмерзання [4]. Для цього у разі зведення монолітних конструкцій у зимовий період використовують підігрівання бетонної суміші, при якому нагрівають воду для бетону чи воду й заповнювачі (залежно від масивності конструкції і температури зовнішнього повітря). При цьому бетонна суміш при виході з бетонозмішувача повинна мати температуру не вище ніж 40 °С, мінімальна температура бетонної суміші під час укладання в масиви повинна бути не нижче ніж 5 °С, а під час укладання в тонкостінні конструкції – не нижче ніж 20 °С. Після завершення робіт з укладання бетонної суміші в конструкцію відкриту поверхню покривають поліетиленовою плівкою і утеплювачем з мінеральної вати, пінопласту, тирсою тощо. Наступним етапом зимового бетонування є забезпечення набирання бетоном критичної міцності. Це досягається використанням внутрішнього запасу теплоти бетону або додатковим подаванням енергії ззовні. Для цього при зведенні монолітних конструкцій у зимовий період застосовують теплові методи: термосу, електродний, індукційний, контактний, конвекційний, нагрівання інфрачервоними променями, електротермообробку [5]. Недоліком цих методів зимового бетонування є значна витрата електроенергії, матеріало- та трудомісткість робіт. Тому останнім часом все ширше використовують безпрогрівні методи бетонування. Удосконалення методів витримування бетону в конструкціях у зимових умовах забезпечується зниженням водоцементного відношення використанням комплексних хімічних добавок пластифікуюче-прискорювальної дії, які дають змогу проводити вкладання литих сумішей за допомогою бетононасосів, забезпечити необхідну щільність бетону і скоротити режими його витримування в опалубці [6].

Спекотна суха погода (температура зовнішнього повітря вище ніж 25 °С, відносна вологість 50 % і менше) істотно коригує проведення бетонних робіт. Так, за підвищеної температури довкілля відбувається значна втрата рухливості бетонної суміші під час транспортування внаслідок гідратації портландцементу і втрати частини води під час випаровування. У сухих спекотних умовах цемент швидко тужавіє, а випаровування води призводить до пластичного зсідання, утворення волосяних тріщин, зниження міцності штучного каменю. Прискорене тверднення бетону попереджає його розтріскування, дає змогу знизити трудоемність та інтенсифікувати процеси гідратації, попередити розвиток пластичного зсідання і забезпечити високу надійність конструкцій в різних умовах експлуатації [7].

Аналіз даних у галузі технології монолітного бетонування, а також відомих закономірностей формування структури штучного каменю з необхідними властивостями свідчить, що для створення високотехнологічних бетонів з інтенсивним набором міцності в різних умовах тверднення необхідно враховувати взаємозв'язок між структурою, складом та властивостями в'язучих матеріалів. Одним із ефективних способів покращення будівельно-технічних властивостей є направлений синтез міцності цементного каменю шляхом розроблення цементуючих систем, які дають змогу регулювати властивості тіста на стадії взаємодії портландцементу з водою, стабілізувати гідратні фази для запобігання перекристалізації, зумовлюють набір мінімальної

критичної міцності, що забезпечує тверднення без погіршення основних властивостей бетону в різних температурних умовах.

Метою роботи є розроблення єдиного наукового підходу до оптимального проектування технології й властивостей самоущільнювальних бетонів на основі суперпластифікованих портландцементних композицій, що поєднує технологічні рішення приготування і модифікування цементних систем для пошуку раціональних рішень забезпеченості експлуатаційних властивостей бетону в умовах зміни факторів його складу, технології й експлуатації.

Методи досліджень і матеріали

Для приготування самоущільнювальних бетонів на основі суперпластифікованих портландцементних композицій використовували ПЦ I-500-Н ПАТ “Івано-Франківськцемент”, вапняковий мікронаповнювач, комплексну мінеральну добавку на основі метакаоліну (МК), суперпластифікатор полікарбоксилатного типу (ПК) та прискорювачі тверднення (роданід та тіосульфат натрію – ТРН). Як дрібні заповнювачі до бетону застосовували кварцовий пісок Ясинецького родовища з модулем крупності $M_k=1,32$ та пісок Жовківського родовища ($M_k=2,77$), в якості крупного заповнювача – гранітний щебінь фракції 5–20 мм. Технологічні та будівельно-технічні властивості самоущільнювальних бетонів на основі суперпластифікованих цементуючих систем визначали згідно з спеціальними методами оцінки якості, рекомендованими європейською комісією (EFRAKC), чинними стандартами та загальноприйнятими методиками.

Результати досліджень

У разі досягнення бетоном критичної (мінімально необхідної) міцності 5 МПа створюється можливість протидії негативному впливу від’ємних температур. Проведеними дослідженнями встановлено, що міцність на стиск суперпластифікованих бетонів (Ц:П:Щ=1:1,38:2,29, Ц=480 кг/м³) через 2 та 28 діб в нормальних умовах становить 19,3 і 46,5 МПа (рис. 1, а), а при знакозмінних температурах – 14,8 і 35,8 МПа відповідно (рис. 1, б). У разі тверднення в нормальних умовах міцність самоущільнювальних бетонів (Ц:П:Щ=1:1,52:2,04, Ц=480 кг/м³) через 2 та 28 діб становить 58,3 і 83,2 МПа, а при температурі -2...+5°C – досягає 35–85 % значення міцності в нормальних умовах та через 7 і 28 діб становить відповідно 60,8 і 71,8 МПа.

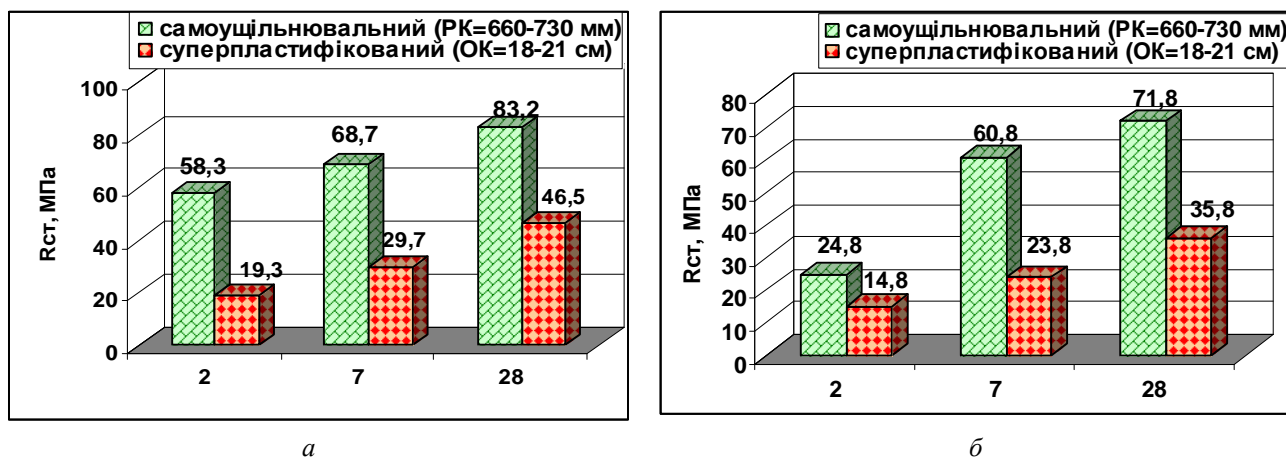


Рис. 1. Міцність самоущільнювального та суперпластифікованого бетонів у нормальних умовах тверднення (а) та за температури -2...+5 °С (б)

З метою вивчення можливості проведення будівельних робіт у літній період досліджено реологічні та фізико-механічні властивості самоущільнювального бетону на основі суперпластифікованих цементуючих систем у сухих спекотних умовах ($t \geq 25^\circ\text{C}$, $\varphi \leq 50\%$). Дотриманість марки за діаметром розпливання конуса самоущільнювальної бетонної суміші в сухих спекотних умовах триває до 3 год, а впродовж перших 1,5 год втрати рухливості суміші становлять лише 8 % (рис. 2, а). Рання міцність самоущільнювального бетону за температури +30 °C зменшується на 20–30 % порівняно з міцністю в нормальних умовах і через 2 та 7 діб становить 41,7 і 56,8 МПа відповідно, при цьому марочна міцність досягає 69,7 МПа (рис. 2, б).

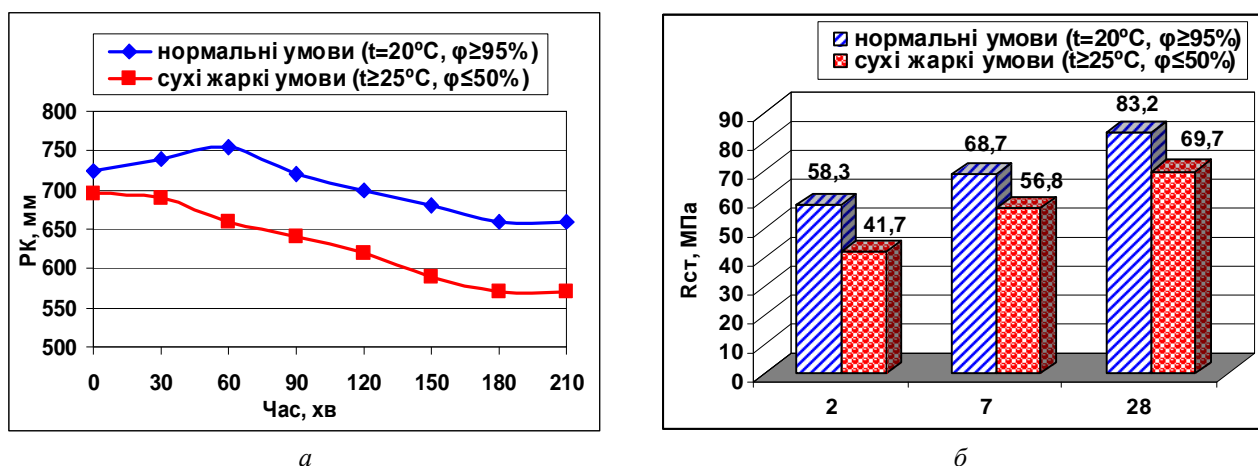


Рис. 2. Зміна рухливості бетонної суміші в часі (а) та міцність самоущільнювального бетону (б) на основі суперпластифікованих цементуючих систем

Морозостійкість та водонепроникність бетонних і залізобетонних конструкцій є мірою їх довговічності. Необхідна довговічність бетону забезпечується проектуванням оптимальної структури, складу та технології виготовлення [7]. Зростання морозостійкості (марка за морозостійкістю F 400 за прискореною методикою згідно з ДСТУ Б В.2.7-49-96) та водонепроникністю (W 20) самоущільнювальних бетонів пояснюється істотним водоредуруючим ефектом ($V/C=0,35$) та створенням дрібнопористої мікроструктури.

Прогнозування властивостей залізобетонних конструкцій – це складне завдання для дослідників у галузі технології бетонування. Поліпшення показників якості бетону досягається за рахунок застосування математичних моделей, що враховують і описують реологію литих сумішей, оптимальний розподіл заповнювачів у структурі матеріалу, а також апроксимаційних статистичних залежностей, які оцінюють вплив технологічних факторів на експлуатаційні характеристики споруд. Системний підхід до визначення технологічних показників бетону значною мірою дає змогу прогнозувати і направлено регулювати його властивості залежно від цілей і завдань, що вирішують будівельники та технологи.

Висновки

Отже, розроблення ефективних технологічних рішень для монолітного бетонування дає змогу визначати раціональні склади та режими одержання самоущільнювальних бетонів із необхідними рівнями експлуатаційних властивостей у різних температурних умовах тверднення.

1. Szwabowski J. *Technologia betonu samozagęszczalnego* / J. Szwabowski, J. Golaszewski. Krakow: Stowarzyszenie Producentów Cementu, 2010. – 160 p. 2. Bajorek G. *The effect of cement / additive cooperation in Self compacting concrete* // 10-th Scientific conference Rzeszow – Lviv – Kosice, 2005. – P. 114–119. 3. Ушеров-Маршак А. В. *Современный товарный бетон* / А. В. Ушеров-Маршак // *Товарный бетон. Новые возможности в строительных технологиях: I Междунар. науч.-практ. конф.* – Харьков, 2008. – С. 8–15. 4. Рунова Р. Ф. *Анализ факторов, определяющих свойства товарных бетонных смесей* / Р. Ф. Рунова, И. И. Руденко, В. В. Троян // *Товарный бетон. Новые возможности в строительных технологиях: I Междунар. науч.-практ. конф.* – Харьков, 2008. – С. 16–43. 5. *Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво* / [Р. Ф. Рунова, В. І. Гоц, М. А. Саницький та ін.] – К.: УВПК „ЕксОб”, 2008. – 360 с. 6. *Пути создания самоуплотняющихся бетонов* / [С. В. Коваль, Д. М. Поляков, М. Ситарски, М. Циак] // *Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб.* – К.: НДІБК, 2009. – Вип. № 72. – С. 232–238. 7. *Технологія будівельного виробництва* / [В. К. Черненко, М. Г. Ярмоленко, Г. М. Батура та ін.]; За ред. В. К. Черненка, М. Г. Ярмоленка. – К.: Вища школа, 2002. – 430 с.