УДК 666.942.31 : 691-413 DOI: 10.31650/2415-377X-2019-74-113-121

НАДШВИДКОТВЕРДНУЧІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНІ КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ЕКСТРУЗІЙНОГО БЕЗПЕРЕРВНОГО ФОРМУВАННЯ

Ю.В. Олевич
Національний університет «Львівська політехніка»
yuriy_olevych@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5919-9945

Анотація. У статті представлені результати використання надшвидкотверднучих портландцементних композицій, модифікованих суперпластифікатором полікарбоксилатного типу та інноваційним прискорювачем тверднення на основі наночастинок гідросилікатів кальцію для малопрогрівних та безпрогрівних технологій виготовлення багатопустотних попередньо напружених плит перекриття, які виготовляються методом стендового екструзійного безперервного формування. На основі надшвидкотверднучих портландцементних композицій розроблено високоміцні бетони, які забезпечують необхідну передавальну міцність при низькотемпературних та безпрогрівних режимах теплової обробки.

Ключові слова: плита перекриття безопалубного формування, малопрогрівна технологія, надшвидкотверднуча портландцементна композиція, наномодифікатор, полікарбоксилатний суперпластифікатор, передавальна міцність.

Вступ. Збірно-монолітне будівництво дозволяє зводити конкурентноспроможні багатоповерхові збірно-монолітні будинки і вирішувати задачі масового житлового будівництва. При цьому найпоширенішими залізобетонними конструкціями є багатопустотні плити перекриття. На сучасному етапі практичний інтерес при їх виробництві представляє впровадження нових, економічних технологічних ліній безопалубного формування на відміну від менш ефективних традиційних способів, зокрема агрегатно-потокового, конвеєрного [1-4]. Разом з тим, до проблем технології екструзійного безперервного формування відносять необхідність розпалублення виробів у короткі терміни із забезпеченням передавальної та проектної міцностей. Максимальна оптимізація виробничого процесу залізобетонних попередньо напружених виробів пов’язана з економією енергетичних ресурсів і досягається при переході на малопрогрівні і безпрогрівні технології (Zero energy technology), що забезпечується за рахунок використання надшвидкотверднучих портландцементних композицій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Плити перекриття безопалубного формування використовуються для облаштування несучих конструктивних елементів перекриття і покриття будівель та споруд різного призначення [1–3]. Високою ефективністю характеризується устаткування технологічної лінії з виробництва пустотілих плит перекриття на довгих стендах італійської фірми «Nordimpianti». Виробництво попередньо напружених залізобетонних конструкцій на довгих настилах включає наступні технологічні операції: очищення, в т.ч. вакуумне, змащування формувальних настилів, розкладання та попереднє напруження арматури, формування, укриття виробів, низькотемпературний прогрів, розпилювання на необхідні розміри, зняття і складування виробів [1]. Важливе значення при виробництві залізобетонних плит перекриття відіграє температура ізотермічного прогріву. На даний час температура формуючого настилу на більшості підприємств становить 50-60°C, що спричиняє значні енергетичні витрати. Крім того, підвищена температура тверднення бетону може призводити до недобору нормативної міцності внаслідок деструктивних процесів, спричинених відмінністю коефіцієнтів температурного розширення складових бетону, нерівномірністю розподілення температури по об'єму виробу [5]. Тому для виробництва збірного залізобетону ефективним є перехід на безпрогрівні і малопрогрівні технології з суттєвим скороченням енергетичних ресурсів,

підвищенням оборотності теплових агрегатів і продуктивності технологічних ліній, що вимагає впровадження швидкотверднучих високоміцних бетонів для формування багаторівневої організації структури [6–9].

Прискорення набору міцності бетону базується, як правило, на традиційних методах, зокрема використанні жорстких бетонних сумішей з низьким водоцементним відношенням, проектуванні бетонних сумішей з підвищеною витратою портландцементу, застосуванні спеціальних цементів, добавок-прискорювачів тверднення, механоактивації цементу [5, 8, 10, 11]. Інноваційним напрямком у технології швидкотверднучих портландцементних в'яжучих з покращеними експлуатаційними властивостями є модифікування їх структури введенням спеціально синтезованих нанорозмірних частинок (первинних наноматеріалів) або за рахунок синтезу наномасштабних систем у процесах раннього структуроутворення [12–15]. Унікальна технологія нового прискорювача тверднення X-SEED (Crystal Speed Hardening concept) базується на введенні синтетично отриманих наночастинок C-S-H кристалів, які є готовими центрами кристалізації гідросилікатів і забезпечують їх ріст без енергетичного бар'єру в поровому просторі між цементними зернами. Використання добавки X-SEED дозволяє скоротити теплоенергетичні ресурси, а в літній період повністю відмовитись від теплової обробки. Одним з широко застосовуваних сьогодні прийомів нанотехнології у виробництві високоміцних бетонів є використання високоефективних добавок – суперпластифікаторів на основі полікарбоксилатів [13]. При цьому значний практичний інтерес представляє розроблення надшвидкотверднучих портландцементних композицій, модифікованих комплексною нанодобавкою, що поєднує полікарбоксилатний суперпластифікатор та C-S-H наночастинки.

Мета та завдання: розроблення надшвидкотверднучих портландцементних композицій та високоміцних бетонів на їх основі для малопрогрівних технологій попередньо напружених залізобетонних виробів.

Матеріали та методика дослідження. Для одержання надшвидкотверднучих композицій використовували портландцемент загальнобудівельного призначення ПЦ І-500Р-Н ПрАТ "Івано-Франківськцемент", суперпластифікатор на основі полікарбоксилатних ефірів GLENIUM ACE 430 (PCE), а також добавку прискорюючої дії X-SEED 100 (BASF), що містить C-S-H наночастинки. Для порівняння використовували традиційний пластифікатор на основі лігносульфонатів Centrament N3 (ЛСТ), Як дрібні заповнювачі до бетону застосовували кварцовий пісок Жовківського родовища ($М_{кр}$=2,0), як крупний заповнювач – гранітний щебінь фракції 5-20 мм.

Фізико-механічні властивості дрібнозернистих бетонів на основі надшвидкотверднучих композицій визначали відповідно до ДСТУ Б.В. 2.7-187:2009.

Проектування складів швидкотверднучих бетонів проводили згідно з ДСТУ Б В.2.7-215:2009 та ДСТУ-Н Б В.2.7-299:2013. Жорсткість бетонної суміші визначали за ДСТУ Б В.2.7-114-2002. Зразки бетону для визначення міцності виготовляли за ДСТУ Б В.2.7-214:2009 у металевих формах-кубах розміром 100×100×100 мм. Зразки тверднули в нормальних умовах (температура 20±3 °С, відносна вологість 95±5%), а також в умовах низькотемпературної теплової обробки в універсальній пропарювальній камері КПУ-1. Після виготовлення зразки пропарювали за режимом 1+8+1 год. Температура ізотермічного прогріву складала 40 та 60 °С.

Випробування бетонів на міцність при стиску проводили згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельно-технічні властивості швидкотверднучих бетонів (середня густина, водопоглинання, пористість) визначали відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Показники тріщиностійкості модифікованих бетонів проводили згідно з ДСТУ Б В.2.7-227:2009.

Для оцінки впливу хімічних добавок та температури ТВО на властивості дрібнозернистих бетонів на основі надшвидкотверднучих портландцементних композицій проведено математичне планування експерименту. При цьому застосовували один з методів статистичної обробки результатів – метод ортогонального центрально-композиційного планування (ОЦКП) [16].

Результати досліджень. Для визначення ефективності дії добавок різної природи та використання надшвидкотверднучої композиції в умовах тепловологої обробки за низькотемпературними режимами вивчено їх вплив на міцнісні показники дрібнозернистих бетонів (рис. 1). Міцність дрібнозернистого бетону на основі ПЦ І-500 після ТВО при введенні добавки Centrament N3 (0,7 мас.%) підвищується на 11,4-26,3% при різних температурних режимах порівняно з контрольним складом. У той же час, використання добавки GleniumACE430 (1 мас.%) забезпечує зростання міцності бетону на 68,3% при $T_{із.}$ = 20°С і на 32,5% при $T_{із.}$ = 60°С. Дрібнозернистий бетон на основі надшвидкотвердучої композиції (ПЦ І-500+1 мас.% PCE + 2 мас.% X-SEED) характеризується найвищими міцнісними показниками. Так, міцність бетону зростає в 2,54 рази порівняно з контрольним складом при $T_{із.}$ = 20°С, при $T_{із.}$ = 40°С та $T_{із.}$ = 60°С – в 1,73 і 1,52 рази відповідно.

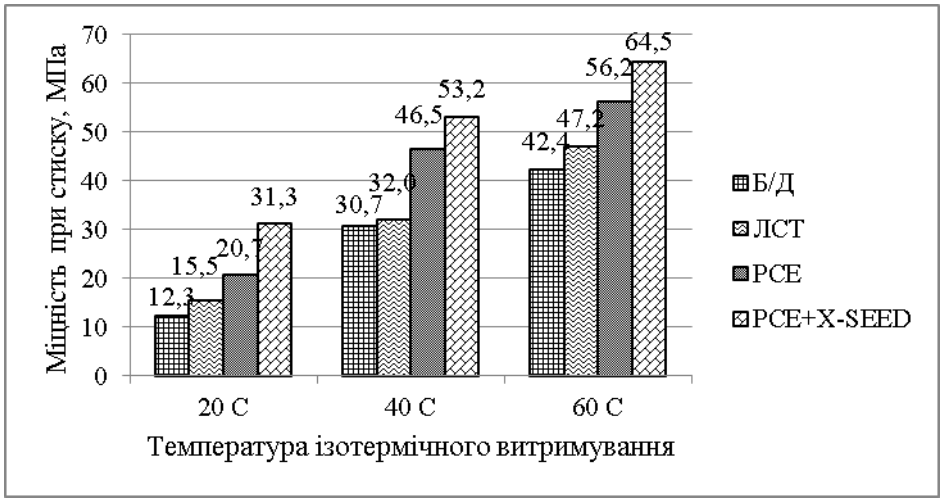


Рис. 1. Міцність на стиск дрібнозернистих бетонів після ТВО

Показники коефіцієнта відносної міцності бетону Кс, визначеного як відношення міцності модифікованого дрібнозернистого бетону до міцності бетону без добавок (рис. 2), свідчать про найнижчу ефективність добавки ЛСТ (Кс = 1,26; 1,04; 1,11). Використання портландцементної композиції ПЦ І-500+PCE+X-SEED сприяє підвищенню коефіцієнта відносної міцності бетону Кс при різних температурах ізотермічного прогріву. Так, при $T_{із.}$=20°С значення коефіцієнта Кс становить 2,55; а також 1,73 і 1,52 при $T_{із.}$=40°С і $T_{із.}$=60°С відповідно. Дані результати свідчать про високу ефективність надшвидкотверднучих композицій при низькотемпературних режимах ТВО.

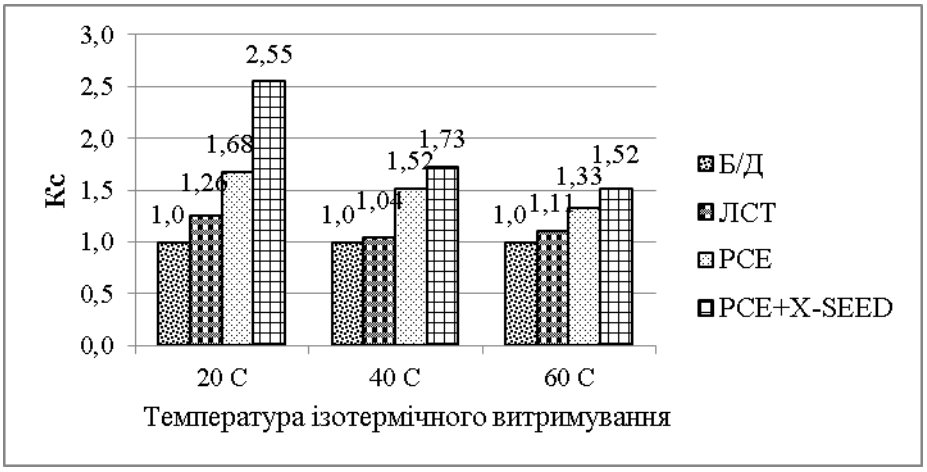


Рис. 2. Коефіцієнт ефективності добавок-модифікаторів

Для побудови експериментально-статистичних моделей показників міцності дрібнозернистого бетону на основі портландцементу ПЦ І-500Р-Н в залежності від рецептурно-технологічних параметрів визначальними факторами моделювання вибрано кількість прискорювача тверднення X-SEED (X_1= 0; 2,0; 4,0 мас.%) та температуру ізотермічного витримування (X_2= 20; 40; 60 ^oC). Дозування високоефективного полікарбоксилатного суперпластифікатора стабілізували на рівні 1,5 мас. % при забезпеченні високого водоредукуючого ефекту. Для проведення аналізу впливу даної факторної моделі на міцність після ТВО та через 28 діб дрібнозернистого бетону виконані експериментальні дослідження у відповідності з планом двофакторного трирівневого експерименту.

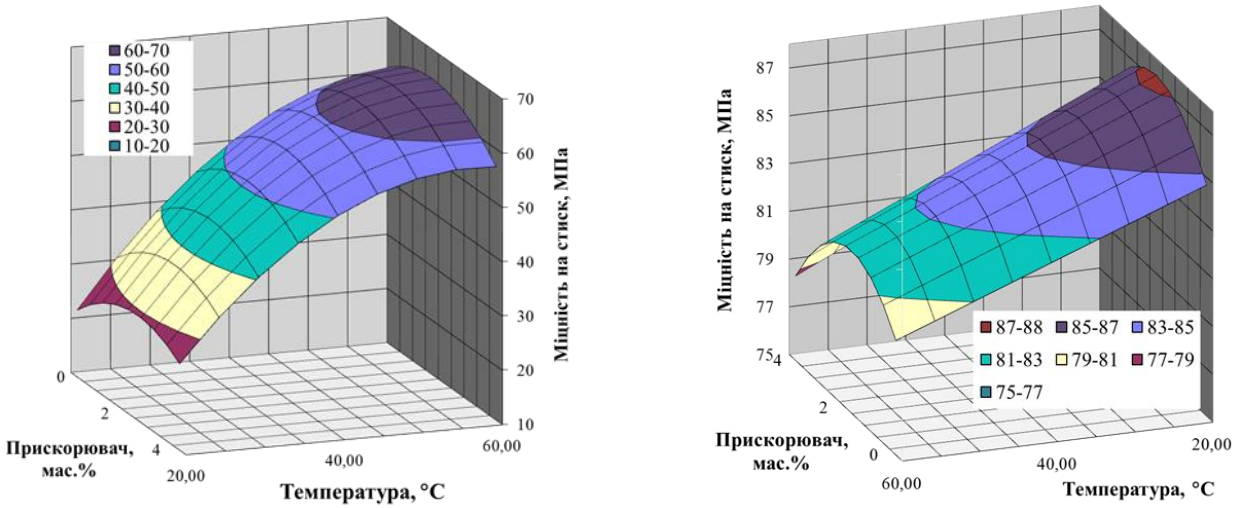
Аналізом отриманих поліноміальних регресійних рівнянь (1-3) і експериментально-статистичних моделей дрібнозернистих бетонів встановлено, що при введенні максимальної кількості прискорювача тверднення та температурі ізотермічного витримування 60 ^oC спостерігається зниження границі міцності на стиск після ТВО та через 28 діб, про що свідчать від'ємні знаки коефіцієнтів b_{11} та b_{22}.

$$В/Ц = 0,23-0,01X_2-0,1X_2^2 \quad (1)$$

$$R_{ство} = 54,78+16,77X_1+1,62X_2–7,67X_1^2–6,92X_2^2-0,9X_1X_2 \quad (2)$$

$$R_{с28}= 84,53-2,77X_1-0,3X_2–2,6X_1^2-0,325X_1X_2 \quad (3)$$

За даними рівняннями регресії отримано ізопараметричні поверхні, які адекватно описують зміну міцності на стиск після ТВО та через 28 діб тверднення дрібнозернистого бетону від змінних параметрів (рис. 3).



а) б)

Рис. 3. Ізопараметричні поверхні міцності на стиск після ТВО (а) та через 28 діб (б) дрібнозернистих бетонів на основі надшвидкотверднучих композицій

В результаті проведених випробувань та графічними залежностями визначено оптимальну кількість добавки-прискорювача, що відповідає основному рівню варіювання, у складі модифікованого бетону, що піддається дії тепловологої обробки за низькотемпературним режимом (температура ізотермічного витримування становить 40 ^oC).

Для визначення доцільності використання надшвидкотверднучих портландцементів для виготовлення бетонів круглопустотних плит перекриття безопалубним методом, найважливішими критеріями для якого є жорсткість та швидкий набір міцності у ранньому віці, запроектовано важкі бетони марки за легковкладальністю бетонної суміші Ж2 класу за міцністю С 30/35 на їх основі номінального складу 1:2,08:3,24 (витрата портландцементу 370 кг).

Зразки бетонів тверднули в нормальних умовах, а також піддавали тепловологій обробці за режимом 1+8+1 год з температурою ізотермічного прогріву 40 °С. Як видно з результатів випробувань бетонів в нормальних умовах тверднення (рис. 4), міцнісні показники композитів на основі надшвидкотверднучої композиції ПЦ І-500+PCE+X-SEED у ранні терміни (через 1 добу) є вищими на 42,6 та 14,5% порівняно з бетоном, модифікованим монодобавками ЛСТ та PCE відповідно. Слід відзначити, що значення міцності бетонів на основі надшвидкотверднучих композицій через 1 добу (f_{cm1}=44 МПа) відповідають передавальній міцності для класу С 30/35, у той час як при модифікуванні добавкою ЛСТ цей показник не досягається. Через 28 діб тверднення значення міцності відповідають показникам для класів С45/55 для бетону, модифікованого добавкою ЛСТ, та С50/60 для бетонів на основі надшвидкотверднучих портландцементів. Показники питомої міцності для бетонів, модифікованих пластифікуючими монодобавками становлять f_{cm1}/f_{cm28}=0,43-0,47; у той час як бетону на основі надшвидкотверднучих портландцементних композицій – f_{cm1}/f_{cm28}=0,53, що відповідає вимогам для надшвидкотверднучих бетонів.

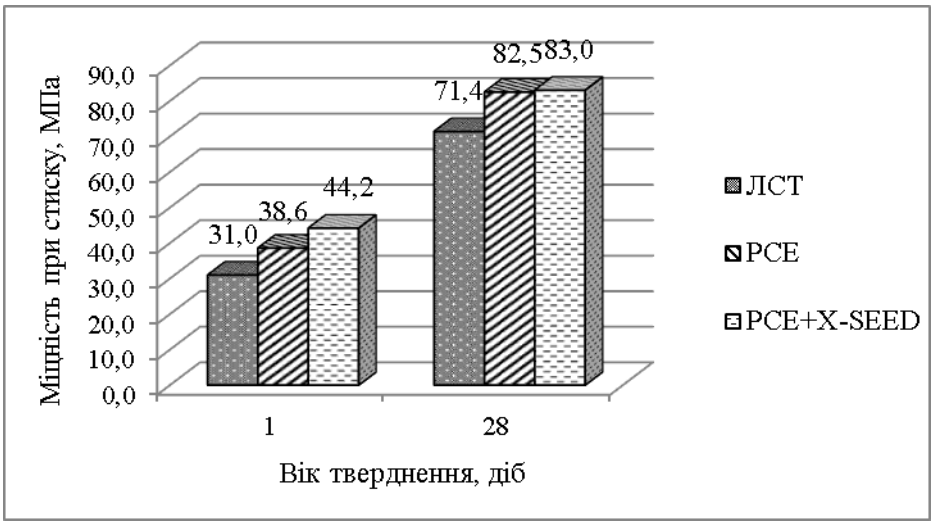


Рис. 4. Міцність бетонів на основі надшвидкотверднучих портландцементів в нормальних умовах тверднення

Як видно з рис. 5, найвищою міцністю після тепловологої обробки характеризується склад на основі надшвидкотверднучої портландцементної композиції – 48,5 МПа, що становить 107,8% від проектної міцності. У той час як міцність бетону, модифікованого добавкою ЛСТ, після ТВО становить 36,4 МПа, що відповідає 80,8% проектної і забезпечує нормовані показники передавальної міцності.

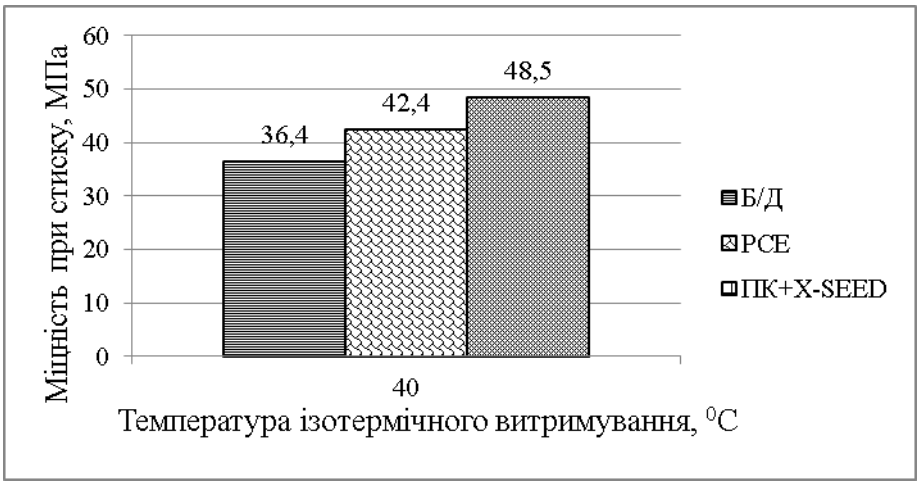


Рис. 5. Міцність бетонів на основі надшвидкотверднучих портландцементів після ТВО

Параметри пористої структури бетонів, визначені згідно з ДСТУ Б В 2.7-170:2008 та методикою, проведеною за методом кінетики поглинання матеріалом води, дозволяють оцінити як інтегральні (уявну пористість), так і диференціальні (показники середнього розміру пор та однорідності розмірів пор) показники. Середня густина бетонів коливається в межах 2395–2468 кг/м^3, що відповідає вимогам для важкого бетону. Слід відзначити, що середня густина бетону на основі модифікованої портландцементної композиції як в сухому так і у водонасиченому стані перевищує середню густину бетону на основі ПЦ І-500+ЛСТ, що свідчить про ущільнення структури за рахунок додаткових гідратних фаз.

Показник середнього розміру капілярів для бетонів на основі ПЦ І-500 характеризується середнім значенням 10,0 та 10,3 відповідно з сумішей з добавками ЛСТ та РСЕ. Низьке значення показника однорідності розмірів капілярів α=0,25-0,4 (максимальне значення 1) зумовлене присутністю в матеріалі капілярів з розмірами більшими і меншими, ніж середній. При використанні надшвидкотверднучого портландцементу показник середнього розміру капілярних пор знижується до 2,3. Бетони на основі надшвидкотверднучих портландцементів характеризуються незначним масовим водопоглинанням 1,09 %. Об’ємне водопоглинання, що характеризує відкриту капілярну пористість, становить 2,69 %. При цьому загальна пористість бетону становить 6,87 %. У той же час, відкрита пористість бетону на основі ПЦ І-500+ЛСТ становить 7,74%.

Закономірності поширення тріщин в бетонах під навантаженням вивчені методами механіки руйнувань за рівнем критичного коефіцієнта інтенсивності напружень Кс* при нерівноважних випробуваннях до дефрагментації зразків через 28 діб тверднення в нормальних умовах. При цьому встановлено, що дрібнозернисті бетони на основі надшвидкотверднучих портландцементів характеризуються підвищенням коефіцієнта інтенсивності в 1,9 рази (Кс*= 1,36 МПа·м^{0,5}) порівняно з бетоном на основі ПЦ І-500Р-Н (Кс*= 0,71 МПа·м^{0,5}).

Висновки. Використання надшвидкотверднучих портландцементних композицій, модифікованих полікарбоксилатним суперпластифікатором та інноваційним прискорювачем тверднення на основі нанорозмірних частинок C-S-H, забезпечує одержання необхідної передавальної міцності бетонів при безпрогрівній та малопрогрівній технологіях виробництва залізобетонних багатопустотних плит перекриття стендового екструзійного безперервного формування. Подальші дослідження будуть направлені на визначення деформаційних властивостей бетонів.

Література

1. Manual for the design of hollowcore slabs. [Electronic resource]. – http://www.fpcaweb.org/notebook/HC_Manual.pdf.

2. Плугин А. А. Моделирование ползучести бетона при оценке напряженно-деформированного состояния сталебетонных плит перекрытия // А.А. Плугин, А.В. Лобяк, Д.В. Головко // Вісник ОДАБ, 2016. – Вип. 63. – С. 79–83.

3. Старчук В.Н. Ефективні залізобетонні конструкції безопалубного формуванням для економічного житлового будівництва / В.Н. Старчук, Я.В. Старчук // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, 2012. – Вип. 45. – С. 30–36.

4. Загреба В. П. Формування бетонних і залізобетонних виробів методом пульсуючого пресування бетонних сумішей : монографія / В.П. Загреба, І.Н. Дудар. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 104 с.

5. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини : підручник / В. І. Гоц, В. В. Павлюк, П. С. Шпилюк. – Київ: Основа, 2016. – 568 с.

6. Кугаєвська Т. С. Аналіз міцності бетону при м’якому режимі теплової обробки нагрітим повітрям / Т. С. Кугаєвська, В. В. Шульгін, В. П. Сопов // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2018. – Т. 91. – №1. – С. 179–185.

7. Суханов В.Г. Структура материала в структуре конструкции / В.Г. Суханов, В.Н.

Выровой, О.А. Коробко. – Одесса: «ПОЛИГРАФ», 2016. – 244 с.

8. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони / Дворкін Л.Й. та ін.: монографія. – Рівне : НУВГП, 2017. – 331 с.

9. Саницький М. А. Надшвидкотверднучі портландцементі композиції для високофункціональних бетонів / М. А. Саницький, У. Д. Марущак, Ю. В. Олевич. – Будівельні матеріали і вироби, 2018. – №3-4. – С. 36–39.

10. Nanomodified Portland cement compositions with alkaline activation / U. Marushchak, M. Sanytsky, T. Mazurak, Yu. Olevych // Budownictwo o zoptymalizovanym potenciale energetycznym: Praca zbiorova. – 2016. – № 2(18) – P. 119 – 128.

11. Механоактивация в технологи бетонов / В.Н. Выровой, И.В. Барабаш, А.В. Дорофеев , И.Н. Бабий [и др.] . – Одеса : ОГАСА, 2014. –148 с.

12. Саницький М.А. Наномодифіковані портландцементні композиції з високою міцністю у ранньому віці / М.А. Саницький, У.Д. Марущак, Т.А. Мазурак // Будівельні матеріали і вироби. – 2016. – № 1. – С. 34-37.

13. Баженов Ю.М. Наноматериалы и нанотехнологии в современной технологии бетонов / Ю. М. Баженов, В. Р. Фаликман, Б. И. Булгаков. – Вестник МГУ. – 2012. – № 12. – С. 125–133.

14. John E. Nucleation seeding with calcium silicate hydrate – A review / E. John, T. Matschei, D. Stephan // Cement and Concrete Research. – 2018. – Vol. 113. – P. 74–85.

15. Research of nanomodified Portland cement compositions with high early age strength / U. Marushchak, M. Sanytsky, T. Mazurak, Y. Olevych // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 6/6 (84). – P. 50–57.

16. Большаков В.И. Основы теории и методологии многопараметрического проектирования составов бетона / В. И. Большаков, Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин // Днепропетровск: ПГАСА, 2006. – 360 с.

References

[1] Manual for the design of hollowcore slabs. Electronic resource]. http://www.fpcaweb.org/notebook/HC_Manual.pdf.

[2] A.A. Plugin, A.V. Lobyak, and D.V. Golovko, “Modelirovanie polzuchesti betona pri otsenke napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya stalebetonnyih plit perekryitiya”, *Visnyk ODABA*, Odesa, Optimym, vol. 63, pp. 79–83, 2016.

[3] V.N. Starchuk, and Y.V. Starchuk, “Efektyvni zalizobetonni konstruktsiyi bezpekubluvannya dlya ekonomichnoho budivnytstva”, *Budivel'ni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika*, vol. 45, pp. 30–36, 2012.

[4] V.P. Zahreba, and I.N. Dudar, *Formuvannya betonnykh i zalizobetonnykh vyrobiv metodom pul'suyuchoho presuvannya betonnykh sumishey,* Vinnytsya: UNIVERSUM-Vinnytsya, 2009.

[5] V.I. Hots, V.V. Pavliuk, and P.S. Shpyliuk, “*Betony i budivelni rozchyny*”, Kyiv: Osnova, 2016.

[6] T.S. Kuhaievska, V.V. Shulhin, and V.P. Sopov, “Analiz mitsnosti betonu pry miakomu rezhymi teplovoi obrobky nahritym povitriam”, *Naukovyi visnyk budivnytstva*, Kharkiv : KhNUBA, KhOTV ABU, T. 91, no. 1, pp. 179-185, 2018.

[7] V.H. Sukhanov, V.N. Vyrovoi, and O.A. Korobko, “*Struktura materyala v strukture konstruktsyy”,* Odessa: «POLYHRAF», 2016.

[8] L.I. Dvorkin at el., “*Vysokomitsni shvydkotverdnuchi betony ta fibrobetony*”, Rivne : NUVHP, 2017.

[9] M.A. Sanytsky, U.D. Marushchak, and Yu.V. Olevych,. “Nadshvydkotverdnuchi portlandtsementi kompozytsii dlia vysoko funktsionalnykh betoniv”, *Budivel'ni materialy i vyroby*, no. 3-4, pp. 36–39, 2018.

[10] U. Marushchak, M. Sanytsky, T. Mazurak, and Yu. Olevych, “Nanomodified Portland cement compositions with alkaline activation”, *Budownictwo o zoptymalizovanym potenciale*

energetycznym: Praca zbiorova, no. 2(18), pp. 119–128, 2016.
[11] V.N. Vyrovoy, I.V. Barabash, A.V. Dorofeev et al., "*Mekhanoaktyvatsyya v tekhnolohy betonov*", Odesa: OHASA, 2014.
[12] M.A. Sanytsky, U.D. Marushchak, and T.A. Mazurak, "Nanomodyfikovani portlandtsementni kompozytsiyi z vysokoyu mitsnistyu u rann′omu vitsi", *Budivel'ni materialy i vyroby*, no 1, pp. 34-37, 2016.
[13] Yu.M. Bazhenov, V.R. Falikman, and B.I. Bulgakov, "Nanomaterialyi i nanotehnologii v sovremennoy tehnologii betonov", *Vestnik MGU*, no. 12, pp. 125–133, 2012.
[14] E. John, T. Matschei, and D. Stephan, "Nucleation seeding with calcium silicate hydrate – A review", *Cement and Concrete Research*, vol. 113, pp. 74–85, 2018.
[15] U. Marushchak, M. Sanytsky, T. Mazurak, and Y. Olevych, "Research of nanomodified Portland cement compositions with high early age strength", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 6/6 (84), pp. 50–57, 2016.
[16] V.I. Bol′shakov, L.I. Dvorkin, and O.L. Dvorkin, "*Osnovy teoryy i metodolohyy mnohoparametrycheskoho proektuvannya skladuv betona*", Dnepropetrovsk: PHASA, 2006.

СВЕРХБЫСТРОТВЕРДЕЮЩИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ЭКСТРУЗИОННОГО НЕПРЕРЫВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ

Ю.В. Олевич
Национальный университет «Львовская политехника»
yuriy_olevych@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5919-9945

Аннотация. Одними из наиболее распространенных железобетонных конструкций для возведения жилых зданий являются многопустотные плиты перекрытия. На современном этапе практический интерес при их производстве представляет внедрение эффективных технологических линий безопалубочного формирования. Вместе с тем, к проблемам технологии экструзионного непрерывного формирования относят необходимость распалубки изделий в короткие сроки с обеспечением передаточной и проектной прочности. Максимальная оптимизация производственного процесса железобетонных предварительно напряженных изделий связана с экономией энергетических ресурсов и достигается при переходе на малопрогревные и безпрогревные технологии (Zero energy technology), что предусматривает использование сверхбыстротвердеющих портландцементных композиций.

Показано, что использование портландцементной композиции ПЦ I-500Р-Н + PCE + X-SEED способствует повышению коэффициента относительной прочности бетона Кс при различных температурах изотермического прогрева. Так, при $T_{из}$ = 20°С значение коэффициента Кс составляет 2,55; а также 1,73 и 1,52 при $T_{из}$= 40 °С и $T_{из}$= 60 °С соответственно, что свидетельствует о высокой эффективности сверхбыстротвердеющих портландцементных композиций при низкотемпературных режимах тепловой обработки. Получены модели прочности мелкозернистых бетонов на основе сверхбыстротвердеющих портландцементных композиций после тепловой обработки и через 28 сут в зависимости от рецептурно-технологических факторов (количество ускорителя и температура изотермического выдерживания).

Запроектированы высокопрочные бетоны на основе сверхбыстротвердеющих портландцементных композиций, которые характеризуются показателем удельной прочности через 1 сут твердения f_{cm1}/f_{cm28} = 0,53, что соответствует требованиям для сверхбыстротвердеющих бетонов, а по значению прочности через 28 сут соответствуют классу С50/60. Показано, что использование сверхбыстротвердеющих портландцементных композиций обеспечивает получение требуемой передаточной прочности бетона при беспрогревной и малопрогревной обработке. Исследованы строительно-технические свойства разработанных бетонов на основе сверхбыстротвердеющих портландцементных

композиций.

Ключевые слова: плита перекрытия безопалубочного формирования, малопрогревная технология, сверхбыстротвердеющая портландцементная композиция, наномодификатор, поликарбоксилатный суперпластификатор, передаточная прочность.

ULTRARAPID HARDENING PORTLAND CEMENT COMPOSITIONS FOR PRECAST PRESTRESSED HOLLOW CORE SLABS PRODUCED BY CONTINUOUS EXTRUSION FORMING

Y.V. Olevych
Lviv Polytechnik National University
yuriy_olevych@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5919-9945

Abstract. Prestressed precast hollow core slabs are the most widely used precast concrete system in the building industry and residential building. At the present stage, the introduction of efficient technological lines of a continuous extrusion forming during their production is of practical interest. However, there are some problems related to continuous formation of hollow core slabs, including unforming products in short terms, that provide the necessary transmission and design strength, which leads to high demand for Portland cement and using of energy-intensive heating. Maximum optimization of the production process of prestressed precast products is associated with the saving of energy resources. Such task is achieved when switching to low-energy and Zero energy technologies, which involves the use of ultrarapid hardening Portland cement compositions.

It is shown that the using of Portland cement composition CEM I-42.5 R-N + PCE + X-SEED provides the increase of the coefficient of concrete relative strength Kc at various temperatures of isothermal heating. So, at T = 20 °C the value of the coefficient Kc is 2.55; as well as 1.73 and 1.52 at T = 40 °C and T = 60 °C, respectively, which testifies to the high efficiency of ultrarapid hardening Portland cement compositions at low-temperature heat treatment. The models of the strength of fine-grained concretes on the basis of ultrarapid hardening Portland cement compositions after heat treatment and after 28 days depending on the recipe and technological factors (the amount of hardening accelerator and the temperature of isothermal curing) were obtained.

High-strength concrete based on ultrarapid hardening Portland cement compositions was designed. The designed concretes are characterized by an indicator of specific strength after 1 day of hardening f_{cm1}/f_{cm28} = 0.53, which meets the requirements for ultrarapid hardening concrete. The strength class of such concretes is C50/60. It is shown that the use of ultrarapid hardening Portland cement compositions provides the required transfer strength of concrete at low and zero energy treatment. The construction and technical properties of the developed concretes based on ultrarapid hardening Portland cement compositions were investigated.

Keywords: hollow core slab of continuous extrusion forming, low-energy technology, ultrarapid hardening Portland cement composition, nano-modifier, polycarboxylate superplasticizer, transfer strength.

Стаття надійшла 15.03.2019