

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОТВЕРДНУЧИХ БЕТОНІВ, МОДИФІКОВАНИХ КОМПЛЕКСНОЮ НАНОДОБАВКОЮ

У. Марущак, к. т. н., Н. Сидор, аспірант
Національний університет «Львівська політехніка»,
О. Мазурак, к. т. н., Р. Мазурак, аспірант
Львівський національний аграрний університет

<https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.090>

Постановка проблеми. Необхідність у передових будівельних матеріалах у практиці сучасного будівельного виробництва як для зведення нових високоякісних будівель та споруд, так і для ремонту та підвищення ефективності наявної інфраструктури, постійно зростає. Такі матеріали повинні характеризуватися високою функціональністю, доступністю, довговічністю, бути економічно ефективними у структурі життєвого циклу будівельних об'єктів. Крім того, інтенсивні способи спорудження будівель висувають підвищені вимоги щодо критерію швидкості виконання процесу відповідно до заданих термінів розпалублення і введення конструкції або споруди в експлуатацію за зниження матеріаломісткості, зменшення енерго- і трудовитрат. У зв'язку з цим, обов'язковою умовою швидкісної технології є застосування високотехнологічних швидкотверднучих бетонів із забезпеченням високих показників їх експлуатаційної надійності [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні технології бетонів ґрунтуються на застосуванні хімічних модифікаторів різних типу і дії, що дає змогу регулювати властивості композитів відповідно до призначення та умов експлуатації. Для підвищення рухливості, міцності бетону, зниження трудомісткості бетонних робіт використовують суперпластифікатори [2]. Серед основних недоліків добавок пластифікуючої групи – тривалий пластифікуючий ефект, що може негативно впливати на набір ранньої міцності бетону з високорухливих сумішей.

Нанонаука та нанотехнології – інноваційний підхід у будівельному виробництві для створення бетонів з регламентованими властивостями, який базується на застосуванні потенціалу частинок нанометричного масштабу $(1-100) \cdot 10^{-9}$ м і полягає у виникненні якісних змін фізико-хімічних показників та реакційної здатності системи, забезпеченні створення умов для прояву явища самоорганізації структури [3-5]. Унікальна технологія прискорювача тверднення X-SEED (Crystal Speed Hardening concept) базується на

введенні синтетично отриманих наночастинок CSH-кристалів, які є готовими центрами кристалізації гідросилікатів і забезпечують їх ріст без енергетичного бар'єру в просторі пор між цементними зернами [6]. Модифікаційні ефекти та механізми впливу введених наноматеріалів на особливості гідратації та властивості цементних матеріалів полягають у реалізації ефектів посіву центрів кристалізації (seeding effect), зростання хімічної активності, у зв'язку з чим прискорюються гідратація і набір ранньої міцності портландцементів [3].

Одним із широкозастосовуваних прийомів нанотехнології у виробництві високоякісних бетонів є використання ефективних суперпластифікаторів на основі полікарбоксилатів (PCE) [7]. Останніми роками розроблено високоефективні суперпластифікатори нового покоління групи «Glenium» з нанопроєктованими молекулярними ланцюгами для високого водоредукування і тривалого збереження рухливості бетонної суміші.

Узагальнення результатів досліджень у галузі технології монолітного бетонування свідчить, що розв'язання проблеми розроблення високотехнологічних швидкотверднучих будівельних композитів для забезпечення швидкого введення об'єктів в експлуатацію та їх надійної експлуатації протягом усього життєвого циклу значною мірою досягають за рахунок модифікування комплексними наноконкомпозитами – матеріалами з мінеральної і полімерної складових, об'єднаних на нанорівні [8].

Постановка завдання. Завдання дослідження – вивчення ефективності впливу комплексного наномодифікатора на основі PCE-суперпластифікатора та інноваційного прискорювача тверднення на реологічні властивості та кінетику тверднення бетонів.

Виклад основного матеріалу. Запроєктовано важкі бетони марки за легковкладальністю бетонної суміші P5 на основі портланд-

цементу ПЦ І-500 Р з витратою в'язучого 350 та 430 кг на 1 м³ бетонної суміші. Для забезпечення високих показників рухливості та швидкості тверднення модифікували комплексним наномодифікатором, що містить полікарбоксилатний суперпластифікатор Master Glenium ACE 430 (PCE) та прискорювач тверднення Master X-SEED (суспензія частинок гідросилікатів кальцію нанорозмірного діапазону).

Рухливість запроєктованих бетонних сумішей з витратою ПЦ І-500 Р 430 кг/м³ відповідає марці за рухливістю Р5 за В/Ц = 0,53. Використання наномодифікатора дає змогу одержати консистенцію рівнорухливих сумішей за В/Ц = 0,27 із забезпеченням водоредукуючого ефекту $\Delta B/C = 49,1\%$ (рис. 1, а). За зменшення витрат в'язучого до 350 кг/м³ заданої рухливості бетонних сумішей досягають за водопотреби 0,35 із забезпеченням водоредукуючого ефекту $\Delta B/C = 42,6\%$ (рис. 1, б). Результати визначення показників розшаровуваності контрольних високорухливих бетонних сумішей показали перевищення значень, встановлених нормативними документами, та невідповідність вимогам стандарту ДСТУ Б В 2.7-96-2000. Слід відзначити, що за використання наномодифікатора PCE+X-SEED за рахунок суттєвого водоредукуючого ефекту та високої водоутримувальної здатності наночастинок забезпечують показники однорідності бетонних сумішей, що відповідають вимогам стандарту – водовідділення $P_B = 0,1-0,5\%$ та розчинівідділення $P_P = 0,8-1,2\%$. При цьому середня густина наномодифікованих бетонних сумішей становить 2420–2430 кг/м³, що визначається оптимальним упакуванням частинок.

Випробування наномодифікованого бетону номінального складу 1:1,37:2,79 (витрата в'язучого 430 кг/м³) з високорухливих сумішей показали, що

міцність на стиск через 1 та 2 доби становить 50,2 та 66,6 МПа відповідно (рис. 2). Значення міцності швидкотверднучого наномодифікованого бетону через 28 діб ($f_{cm28} = 92,3$ МПа) відповідають вимогам щодо класу за міцністю С 55/67, при цьому показник питомої міцності становить $f_{cm2}/f_{cm28} = 0,72$. За цими показниками наномодифікований бетон належить до високоміцних зі швидким наростанням міцності. Підвищення ранньої та кінцевої міцності наномодифікованих бетонів відбувається за рахунок високого водоредукуючого ефекту полікарбоксилатного суперпластифікатора, введення додаткових центрів кристалізації, забезпечення рівномірного розподілу продуктів гідратації, ущільнення міжзернового простору [8; 9].

Визначення міцнісних показників бетону (витрата в'язучого 350 кг/м³), модифікованого нанодобавкою PCE+X-SEED, показало, що через одну добу тверднення міцність зростає в шість разів порівняно з бетоном на основі ПЦ І-500 і становить 39,3 МПа (рис. 3). Через дві доби міцність наномодифікованого бетону зростає до 53,8 МПа, що забезпечує технічний ефект $\Delta R_{ст2} = 300\%$. Показники міцності швидкотверднучого наномодифікованого бетону через 28 діб ($f_{cm28} = 85,8$ МПа) відповідають вимогам щодо класу С50/60 із забезпеченням високої швидкості набору міцності ($f_{cm1}/f_{cm28} = 0,46$ та $f_{cm2}/f_{cm28} = 0,63$), що дає змогу класифікувати їх як швидкотверднучі високоміцні.

Зменшення кількості портландцементу на 22% (з 430 до 350 кг/м³) у складі наномодифікованого бетону спричинює зниження ранньої міцності через одну добу на 21,7 %, проте через 28 діб спад міцності – незначний, що показує ефективність використання комплексного наномодифікатора.

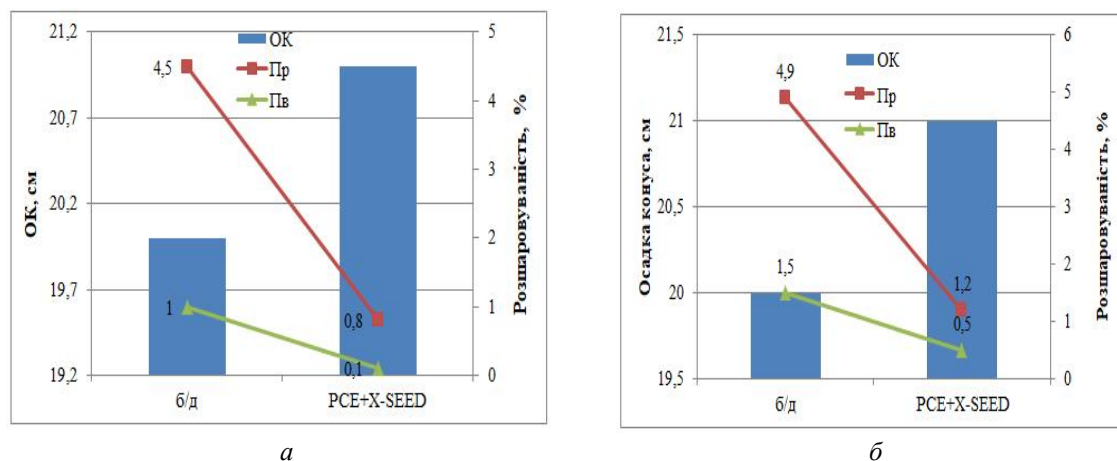
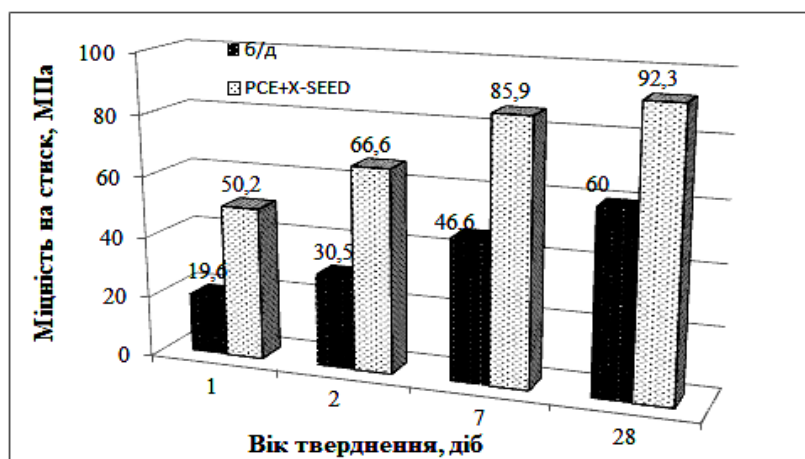
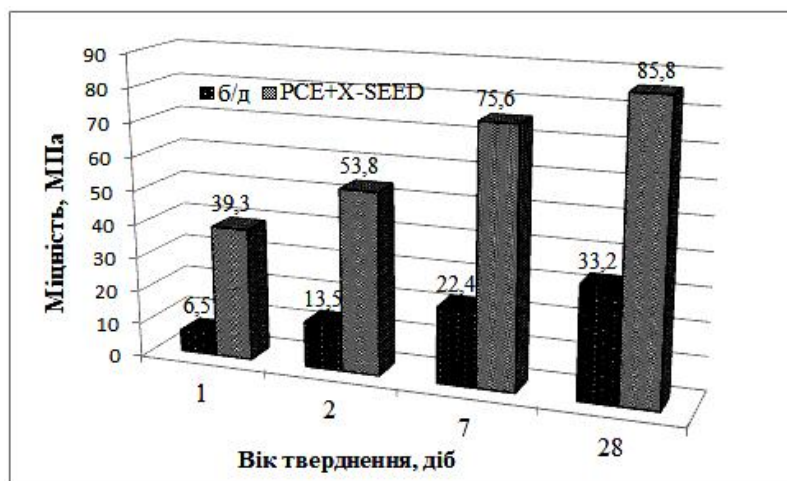


Рис. 1. Властивості бетонних сумішей з витратою портландцементу: а) – 350 кг, б) – 430 кг

Рис. 2. Міцність бетонів з витратою в'язучого 430 кг/м³Рис. 3. Міцність бетонів з витратою портландцементу 350 кг/м³

Згідно з оцінкою критерію економічної ефективності швидкотверднучих бетонів, модифікованих комплексною нанодобавкою PCE+X-SEED, за показником питомої витрати в'язучого на одиницю проектної міцності, наномодифікування бетонів зумовлює підвищення показника ефективності використання портландцементу ($\rho_{\text{Рст}}^{\text{шт}}$) до 4,1–4,7 кг/МПа порівняно з 7,2–10,5 кг/МПа для бетонів контрольного складу.

Висновки. Використання комплексного наномодифікатора в бетоні дає змогу знизити водопотребу на 40–42% за умови збереження рівнорухливості та забезпечення показників стабільності бетонної суміші. Запроектовані наномодифіковані бетони характеризуються швидким наростанням міцності ($f_{\text{cm}2}/f_{\text{cm}28} = 0,63\text{--}0,72$), високою міцністю у проектному віці та зростанням техніко-економічних показників $\rho_{\text{Рст}}^{\text{шт}} = 4,1\text{--}4,8$ кг/МПа.

Широке впровадження наномодифікованих швидкотверднучих бетонів у сучасних будівельних технологіях забезпечить підвищення ефективності зведення монолітних конструкцій за нового будівництва, що зумовлено мінімізацією часу досягнення розпалубної міцності, прискоренням процесу тверднення в різних температурних умовах, а також якісне проведення ремонтних та відновлювальних робіт.

Бібліографічний список

1. Czarnecki L., Kurdowski W. Tendencje kształtujące przyszłość betonu. *Dni Betonu. Materials of International conference*. Wisła, 2006. S. 3–18.
2. Plank J. Concrete Admixtures – Where Are We Now and What Can We Expect in the Future? *19 Internationale Baustofftagung*. Weimar, 2015. Band 2. P. 11–17.
3. Ashani H. R., Parikh S. P., Markna J. H. Role of Nanotechnology in Concrete a Cement Based Material: A Critical Review on Mechanical Properties and Environmental Impact. *International Journal of Nanoscience and Nanoengineering*. 2015. № 2(5). P. 32–35.

4. Фаликман В. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах. *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 31-34.

5. Шейнич Л. А., Пушкарева Е. К. Процессы самоорганизации структуры строительных композитов: монография. Киев: Гамма-принт, 2009. 153 с.

6. Hajok D. Gdy liczy się jakość i szybkość wiązania. *Polski cement. Budownictwo, technologie, architektura*. 2011. № 3 (55). S. 42-43.

7. Effectiveness of polycarboxylate superplasticizers in ultra-high strength concrete / Plank J. [et al.] *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2009. № 1. P. 5-12.

8. Research of nanomodified Portland cement compositions with high early age strength / U. Marushchak, M. Sanytsky, T. Mazurak, Yu. Olevych. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 6/6. P. 50-57.

9. Nanomodified Portland cement compositions with alkaline activation / U. Marushchak, M. Sanytsky, T. Mazurak, Yu. Olevych. *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*. 2016. № 2(18). P. 61-66.

Марущак У., Сидор Н., Мазурак О., Мазурак Р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОТВЕРДНУЧИХ БЕТОНІВ, МОДИФІКОВАНИХ КОМПЛЕКСНОЮ НАНОДОБАВКОЮ

Показано, що одним з інноваційних напрямів одержання швидкотверднучих бетонів є застосування нанотехнологічних прийомів модифікування їх структури введенням нанодисперсних добавок у поєднанні з полікарбоксилатним суперпластифікатором. Розроблено ефективні склади швидкотверднучих бетонів, модифікованих комплексною нанодобавкою, яка містить суперпластифікатор полікарбоксилатного типу та інноваційний прискорювач тверднення на основі наночастинок гідросилікатів кальцію, з різною витратою портландцементу. Встановлено, що введення комплексного наномодифікатора забезпечує одержання високорухливих стабільних бетонних сумішей марці за рухливістю P5 за забезпечення водоредуруючого ефекту $\Delta W/C = 42,6-49,1\%$. При дослідженні кінетики тверднення наномодифікованих бетонів встановлено, що вони характеризуються інтенсивним набором ранньої міцності ($f_{cm2}/f_{cm28} = 0,63-0,72$), а за показником проектної міцності належать до високоміцних (C50/60-C55/67). Підвищена міцність наномодифікованих швидкотверднучих бетонів забезпечується ущільненням міжзернового простору цементної матриці за рахунок високого водоредууючого та дефлокуючого ефектів добавки полікарбоксилатів, а також ефекту посіву додаткових центрів кристалізації в паровому просторі за введення наночастинок гідросилікатів кальцію. Виявлено, що використання комплексного наномодифікатора підвищує ефективність використання портландцементу в бетонах ($C_{Red} = 4,1-4,8$ кг/МПа).

Ключові слова: швидкотверднучий бетон, комплексний наномодифікатор, полікарбоксилатний суперпластифікатор, прискорювач тверднення, рухливість, рання міцність.

Marushchak U., Sydor N., Mazurak O., Mazurak R.

RESEARCH OF RAPID HARDENING CONCRETES, MODIFIED BY COMPLEX NANOADMIXTURE

It is shown that one of the innovative ways of Rapid-hardening concrete obtaining is the use of nanotechnological techniques for the modifying of their structure. It is established that the introduction of a complex nanomodifier on the basis of polycarboxylate superplasticizer and an innovative hardening accelerator based calcium silicate hydrate colloidal particles ensures the high flowability and stability of fresh concretes. Flowability of nanomodified fresh concrete measured by slump test is 210 mm with the providing of a water-reducing effect $\Delta W/C = 42,6-49,1\%$. The stability indicators (water and mortar liberation) of concrete mixtures, modified by complex nanoadmixture, are improved compared to control concrete mixture. The concretes nanomodified by calcium silicate hydrate colloidal particles and polycarboxylate superplasticizer characterize by significant acceleration of the early strength kinetics. It is established that nanomodified concrete is characterized by high early strength (specific strength $f_{cm2}/f_{cm28} = 0,63-0,72$) and high strength after 28 days (85-92 MPa). The enhanced performance of Rapid hardening concretes is provided by fill up the empty space inside cementitious matrix, seeding effect whereby the C-S-H additive provides new nucleation sites within the pore space between the cement particles, high water reducing effect combined with an efficient dispersion effect of polycarboxylates. Designed nanomodified concretes are Rapid hardening high strength ones. The use of a complex nanomodifier increases the efficiency of using Portland cement in concrete (specific consumption of Portland cement is 4,1-4,8 kg/MPa).

Key words: rapid hardening concrete, complex nanomodifier, polycarboxylate superplasticizer, hardening accelerator, flowability, early strength.

Стаття надійшла 05.03.2018.