

Vladyslav Nastoyashchii, Prof., PhD tech. sci., Victor Pashynskyi, Prof., DSc., Oleksandr Lizunkov, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Practical Experience in Designing a Lightning Protection System for a Lyceum Building

The study was carried out with the aim of demonstrating practical experience in lightning risk assessment and the design of an external lightning protection system in accordance with the requirements of current Ukrainian regulatory documents. The risk analysis and design of the lightning protection system were performed for a specific lyceum building that is currently out of operation and subject to reconstruction.

The surveyed lyceum building has a complex plan configuration with overall dimensions of 42×53 m. There is no basement. The building is a frameless structure with load-bearing exterior and interior brick walls and partitions 250–510 mm thick. The attic floor is made of precast hollow-core reinforced concrete slabs. As a result of the reconstruction, the cold roof will be made of metal tiles installed on a wooden rafter system. According to DBN B.1.2-14:2018, the facility has a responsibility class of CC2.

Calculations by the methodology of DSTU EN 62305-2:2021 showed that the risks of injury or loss of life due to electric shock, as well as the risk of physical damage to the lyceum building caused by a lightning strike, exceed permissible values. These significant risks necessitate the installation of a lightning protection system for the building.

The external lightning protection system of the lyceum building was designed in accordance with DSTU EN 62305-3:2021 requirements. It consists of a protective mesh with 15×15 m cells located on the surface of the pitched roof, down conductors, and both horizontal and vertical earthing electrodes forming a closed-loop contour. The mesh and down conductors are made of galvanised steel wire with a diameter of 8 mm. All connecting and fastening components of the lightning protection structure are manufactured using domestically produced materials.

Based on the design results, the proposed configuration of the external lightning protection system ensures reliable protection of the building against lightning strikes. The described methodology for risk analysis and system design can be applied to the design and reconstruction of other residential and public buildings of a similar type.

lightning, risks to people and buildings, lightning protection system

Одержано (Received) 07.11.2025

Прорецензовано (Reviewed) 27.11.2025

Прийнято до друку (Approved) 30.01.2026

УДК 691.88

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14\(45\).227-233](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14(45).227-233)

І. О. Скриннік, доц. канд. техн. наук, **М. О. Федотова**, канд. техн. наук,

В. В. Дарієнко, доц. канд. техн. наук, **В. В. Яцун**, проф. канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький Україна

e-mail: Skrynnik_2002@ukr.net

Застосування швидкотвердіючих цементних складових в бетонах при зведенні будівель та споруд на об'єктах в будівництві

У статті розглянуто сучасні підходи до створення швидкотвердіючих цементних сумішей на основі портландцементу, а також застосування таких бетонних сумішей в якості моноліту в будівництві. Проаналізовано проблеми забезпечення інтенсивного набору міцності бетону в ранні строки твердіння за умов підвищеної рухомості бетонних сумішей. Обґрунтовано доцільність застосування нанотехнологічної концепції керування структуроутворенням цементного каменю з метою регулювання кінетики гідратаційних процесів та формування щільної мікроструктури бетону.
швидкотвердіючі цементуючі системи, високофункціональні бетони, міцність бетону, портландцемент, структуроутворення

© І. О. Скриннік, М. О. Федотова, В.В. Дарієнко, В. В. Яцун, 2026

Постановка проблеми. Перспективним та технологічним методом застосування портландцементних сумішей є впровадження нанотехнологічної концепції [6,9]. Вона ґрунтується на цілеспрямованому управлінні формуванням твердої фази шляхом введення спеціально синтезованих первинних нанорозмірних компонентів або шляхом ініціювання утворення наномасштабних структур безпосередньо в об'ємі матеріалу. Такий підхід дозволяє регулювати кінетику гідратаційних процесів, морфологію продуктів твердіння та щільність цементного каменю. Застосування наномодифікації відкриває нові можливості для створення швидкотвердіючих цементних систем, орієнтованих на одержання високофункціональних бетонних композитів із заданими експлуатаційними характеристиками. Реалізація цієї концепції сприяє зниженню матеріало та енергоємності будівельного виробництва, підвищенню довговічності та надійності будівельних конструкцій, а також забезпеченню їх ефективної роботи в різних умовах експлуатації. Для високофункціональних бетонів визначальним є забезпечення підвищених реологічних характеристик бетонних сумішей, зокрема високої рухливості, оптимальної в'язкості, стійкості до розшарування та здатності до самонівелювання у густоармованих конструкціях [3,8]. Важливим показником є також ефективне самовільне видалення бульбашок повітря, що безпосередньо впливає на щільність та міцність сформованої бетонної структури. Водночас застосування спеціальних видів цементів, зокрема лужних, безгіпсових, або глиноземистих, супроводжується необхідністю використання спеціальної сировинної бази та створення окремих технологічних ліній для помелу, зберігання і транспортування. Це суттєво підвищує їхню собівартість та обмежує можливість широкого використання у виробництві швидкотвердіючих бетонів [5,9]. Крім того, підвищений вміст високоалітових портландцементів у бетонних композиціях може призводити до зростання усадкових деформацій, а застосування традиційних добавок-прискорювачів нерідко негативно впливає на довговічність бетону та корозійну стійкість арматури.

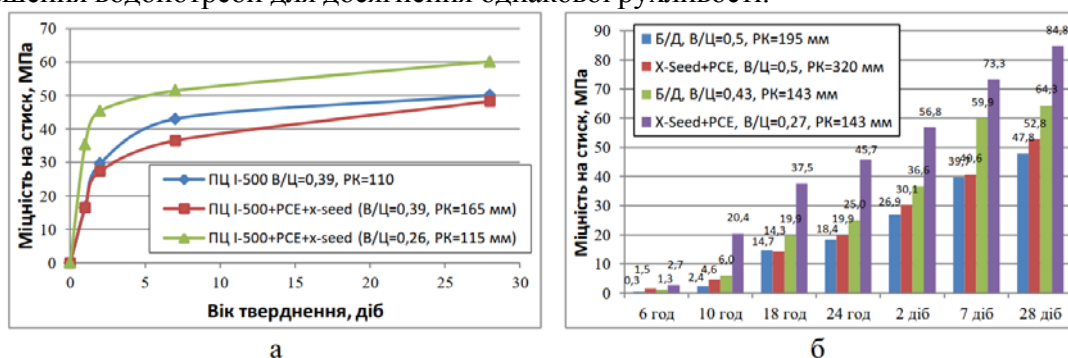
Аналіз останніх досліджень і публікацій. В традиційних будівельних технологіях на виробництві для швидкого досягнення твердості бетонної суміші досягається переважно за рахунок жорстких бетонних сумішей з низьким водоцементним співвідношенням [9], збільшення витрати портландцементу, застосування спеціальних цементів та прискорювачів тверднення або механічної активації цементу (Ю. В. Олевич, О. Р. Позняк, А. П. Горпинко, У. Д. Марущак, І. І. Кіракевич, Л. Й. Дворкін, Т. П. Кропивницька, М. А. Саницький, І. К. Гев'юк, Т. Кропивницька, та ін [1-8]). Для високофункціональних бетонів ключовою вимогою є підвищена реологічна ефективність сумішей – оптимальна рухливість, контрольована в'язкість, стійкість до сегрегації та здатність до самовільного видалення повітря, особливо у густоармованих конструкціях. Виробництво спеціальних цементів (лужних, безгіпсових, галогенвмісних, глиноземистих) потребує суворого контролю сировинної бази та спеціалізованого обладнання, що значно підвищує їхню вартість. Тому для забезпечення високих показників ранньої та проектної міцності високофункціональних бетонів при збереженні рухливості сумішей необхідно шукати нові технічні рішення для створення швидкотвердіючих в'язучих із покращеними експлуатаційними характеристиками. Інноваційним напрямом є модифікування структури цементних систем шляхом введення спеціально синтезованих наночастинок або формування нанометричних елементів безпосередньо в об'ємі матеріалу (М. А. Саницький, І. К. Гев'юк, Т. Кропивницька, А. П. Горпинко, Ю. В. Олевич та ін [5-8]). Аналіз швидкотвердіючих бетонних сумішей з гарними характеристиками наведеними в роботах І. Kirakevych, М. Sanytsky, О. Shyiko, R. Kagarlitskiy, Т. Kropyvnytska, Т. Rucińska, О. Rykhlitska, А. Volianiuk, Н. Najm, Р. Balaguru [10-14].

Постановка завдання. У сучасному будівництві особливе значення має скорочення строків виконання робіт при збереженні високих експлуатаційних характеристик бетонних конструкцій. Швидкотвердіючі цементні суміші дозволяють отримувати бетонні суміші з підвищеною ранньою міцністю, що забезпечує раннє навантаження конструкцій і прискорює введення об'єктів в експлуатацію. Однак застосування таких цементів у високорухливих та густоармованих бетонних сумішах пов'язане з рядом проблем: необхідністю забезпечення оптимальної структури цементного каменю, регулювання водопотреби, контролю процесів гідратації та структуроутворення, підвищення тріщиностійкості та довговічності матеріалів. Крім того, вплив наномодифікації в'язучих систем на раннє формування міцності, реологічні властивості сумішей і структурні характеристики бетонної суміші потребує системного наукового дослідження. Таким чином, основна **задача** даного полягає у вивченні та оптимізації складів швидкотвердіючих цементних систем для високофункціональних бетонів, що дозволить:

1. Забезпечити високу ранню та проектну міцність бетонних конструкцій.
2. Оптимізувати технологічні властивості бетонних сумішей для застосування у густоармованих конструкціях.
3. Вивчити вплив модифікаторів і дисперсного армування на структуроутворення та тріщиностійкість бетонної суміші.

Виклад основного матеріалу. Теперешній стан будівництва зводиться до експлуатаційної надійності, довговічності та технологічної ефективності будівельних матеріалів [1,9]. Особливої актуальності набуває розроблення високофункціональних бетонів, здатних забезпечувати задані експлуатаційні характеристики за скорочених строків будівництва, обмежених технологічних умов та підвищених навантажень. Однією з ключових проблем при використанні високорухомих бетонних сумішей є забезпечення достатнього набору міцності в ранній період твердіння. Традиційні підходи, що ґрунтуються на застосуванні спеціальних швидкотвердіючих цементів, обмежуються їх високою вартістю, складністю виробництва та необхідністю створення окремих технологічних ліній. У зв'язку з цим актуальним напрямом є розроблення модифікованих цементуючих систем на основі портландцементу, здатних забезпечити прискорене структуроутворення без істотного ускладнення технології [6,9]. Надшвидкотверднучі цементуючі системи традиційно реалізуються шляхом використання спеціальних видів в'язучих, таких як глиноземисті, кальційалюмосульфатні, алінітові або лужноактивовані цементи. Незважаючи на їхню ефективність, практичне застосування таких матеріалів обмежується високою собівартістю та складністю інтеграції у масове будівельне виробництво. Альтернативним напрямом є модифікація портландцементних систем за рахунок введення багатокомпонентних комплексів хімічних та мінеральних добавок, що впливають на кінетику гідратації та морфологію продуктів твердіння. Принципово новим підходом до синтезу надшвидкотверднучих цементуючих систем є впровадження нанотехнологічної концепції, яка базується на управлінні процесами формування твердої фази та порового простору на ультрамікроскопічному рівні. Це досягається застосуванням частинок та наноструктурованих добавок виконують роль активних центрів кристалізації, прискорюючи процеси гідратації клінкерних мінералів та сприяючи формуванню більш щільної й однорідної структури цементного каменю [9]. У результаті зменшується капілярна пористість, підвищується контактна міцність у зоні «цементний камінь – заповнювач» та покращуються фізико-механічні характеристики бетону. Застосування швидкотвердіючих цементних сумішей створюють передумови до отримання широкого спектра різних бетонів, зокрема високоміцних, самоущільнювальних, дисперсно-армованих та реакційно-порошкових бетонів. Такі матеріали поєднують високу рухомість бетонної суміші з інтенсивним набором міцності в ранні строки твердіння. Наномодифікація дозволяє не лише підвищити ранню та марочну міцність бетону, але й

істотно покращити його довговічність, морозостійкість, водонепроникність і тріщиностійкість [3,9]. Це особливо важливо для конструкцій, що експлуатуються в складних кліматичних та агресивних середовищах, а також для об'єктів, де необхідне скорочення строків введення в експлуатацію [3,4]. Застосування наномодифікованих швидкотвердіючих цементуючих систем на основі портландцементу дозволяє уникнути використання дефіцитних і дорогих спеціальних в'язучих, забезпечуючи при цьому високий рівень експлуатаційних властивостей бетонів. Такий підхід сприяє зниженню матеріало та енергоємності будівельного виробництва, підвищенню економічної ефективності та екологічної доцільності будівельних технологій. Крім того, керування структуроутворенням бетону відкриває можливості цілеспрямованого проєктування матеріалів із регламентованими властивостями залежно від умов експлуатації та технологічних вимог. Проте практичне застосування таких наномодифікаторів обмежується низкою факторів, зокрема складністю забезпечення їх рівномірного розподілу в об'ємі цементної матриці через схильність до агломерації, недостатньою адгезією нанотрубок до продуктів гідратації цементу, а також зростанням собівартості бетонів. На відміну від інертних нанодобавок, ці компоненти виконують не лише функцію мікронаповнювачів, але й беруть безпосередню участь у хімічних процесах твердіння, сприяючи утворенню додаткової кількості гідросилікатів кальцію [1,9]. Саме ці сполуки є основними носіями міцності та довговічності цементної суміші визначають експлуатаційні властивості бетонних композитів. Забезпечення високої надійності та довговічності бетонних конструкцій потребує комплексного врахування сумісної дії деформаційних процесів. Особливого значення набуває аналіз механізмів зародження, розвитку та поширення тріщин з метою підвищення тріщиностійкості бетону на різних етапах його твердіння та експлуатації (див.рис.1). Для інтегрального оцінювання внеску окремих фракцій у розвиток питомої поверхні застосовано феноменологічний підхід, відповідно до методології, розробленої під керівництвом М.А. Саницького[5-8], який базується на використанні диференційного коефіцієнта поверхневої активності, що враховує як поверхневу активність частинок, так і їхній кількісний вміст у системі. На основі даних гранулометричного аналізу та оцінки поверхневої активності частинок встановлено, що навіть незначна кількість нанодисперсних компонентів забезпечує істотний внесок у формування сумарної питомої поверхні полідисперсних цементуючих систем. Підвищення дисперсності супроводжується зростанням кількості частинок в одиниці об'єму, що інтенсифікує міжчастинкову взаємодію, сприяє формуванню більш розвиненої просторової структури та, як наслідок, призводить до зростання в'язкості систем і збільшення водопотреби для досягнення однакової рухливості.



а) від x1 (x3=0); б) від x2 (x1=0)
Рисунок 1 – Графіки залежності стискання портландцементних сумішей з модифікованих компонентів згідно з ДСТУ
Вік твердіння (а) та години твердіння (б)

Джерело: розроблено на підставі [1]

Експериментально встановлено [9], що водопотреба мінеральних нанодобавок, необхідна для покращення міцності цементної суміші, що дає змогу бетону мати кращу пластичність, суттєво збільшується і складає близько 65 % для метаксаоліну, 93 % для мікрокремнезему та 121 % для аеросилу. Зазначені особливості обумовлюють необхідність використання високоефективних хімічних добавок для регулювання властивостей наномодифікованих систем. Підвищення технологічної ефективності наномодифікованих цементних сумішей досягається шляхом введення суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу з нанопроєктованою молекулярною будовою. Завдяки їх адсорбції на поверхні нанорозмірних частинок відбувається модифікація молекулярної природи міжфазної поверхні, що забезпечує зниження пластичності цементних сумішей у 2,5–5,2 раза. На підставі узагальнення результатів експериментальних досліджень сформульовано принципи композиційного проєктування бетонних сумішей за рахунок швидкотвердіючих цементних складових, орієнтованих на реалізацію технології бетонування конструкцій густоармованих безвібраційної дії. Аналіз характеристик показників міцності дозволив оптимізувати вміст мінеральних складових, зокрема застосування такого матеріалу як вапнякового наповнювача а також застосування добавок мінеральних на основі метаксаоліну, що забезпечує формування стабільної структури бетонної суміші та підвищення експлуатаційних властивостей бетону (див.рис. 2).

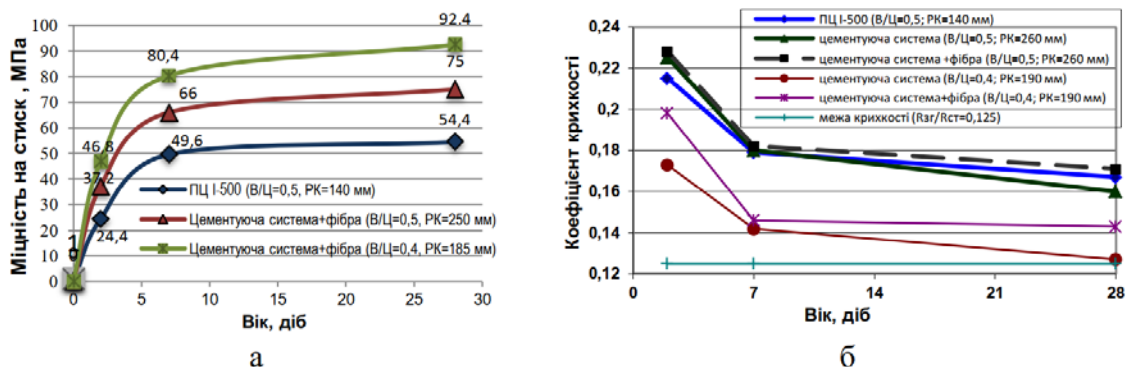


Рисунок 2 – Графіки залежності стискання (а) тріщиностійкості коефіцієнт (б) суміш цементуюча

Джерело: розроблено на підставі [1]

Використання таких матеріалів є перспективним напрямом для сучасного будівництва, що забезпечує скорочення строків зведення споруд та підвищення ефективності будівельного виробництва.

Висновки.

1. В результаті проведеного аналізу та досліджень виконано обґрунтування доцільності застосування нанотехнологічної концепції для створення швидкотвердіючих цементних сумішей на основі портландцементу.

2. Доведено, що модифікація дозволяє ефективно керувати кінетикою гідратації та процесами раннього структуроутворення цементного каменю.

3. Визначено, що високофункціональні суміші бетонні створені за рахунок модифікованих сумішей є підвищеними показниками ранньої та марочної міцності, довговічності та експлуатаційної надійності бетонів.

4. Встановлено, що міцність бетону, що тужавів 1 добу за нормальних умов і мав вміст модифікаторів, прогрівавши бетон до 190 °С, зростає у 2,3 рази зрівнюючи з контрольним зразком без домішок. Зростання межі міцності через 2 доби тужавлення і прогрівання до 190 °С складає 46,3%, а вже через 7 діб – складає 12,7%. При

підвищенні температури до 340 °С межа міцності такого бетону, що тужавів 2 та 7 діб, відповідно збільшилась і склала 121,2 та 129,3 МПа.

Список літератури

1. Позняк О. Р., Мазурак О. Т., Марущак У. Д. Особливості процесів гідратації портландцементних систем з модифікаторами на основі полікарбоксилатів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» : Хімія, технологія речовин та їх застосування*. 2008. № 609. С. 310–314.
2. Кіракевич І. І., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Дрібнозернисті самоущільнювальні бетони для дорожньо-ремонтних робіт. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2010. № 38. С. 333–338.
3. Дворкін Л. Й., Бабич Є. М., Житковський В. В. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони : монографія. Рівне : НУВГП, 2017, 331 с.
4. Кропивницька Т. П., Саницький М. А., Гев'юк І. М. Швидкотверднучі клінкер-ефективні цементи та бетони : монографія. Львів : Простір-М, 2021, 194 с.
5. Саницький М., Кропивницька Т., Гев'юк І., Горпинко А. Високоякісні швидкотверднучі портландцементи виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент». *Будівельні матеріали та вироб.* 2018, №1-2(97), С. 34–37.
6. Марущак У. Д., Олевич Ю. В. Модифіковані бетони для енергоефективних технологій збірного залізобетону. *Актуальні задачі сучасних технологій : збірник 34 тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів*. Т. 1. Тернопіль. 2017. С. 138–139.
7. Позняк О. Р., Саницький М. А., Марущак У. Д., Кіракевич І. І. Дрібнозернисті самоущільнювальні бетони в монолітному будівництві. *Будівельні матеріали, вироб. та санітарна техніка : наук.-техн. зб.* Київ : Знання, 2010. Вип. 35. С. 78–83.
8. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві : навч. посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки. 2013. 236 с.
9. Марущак У. Д. Наномодифіковані надшвидкотвердіючі цементуючі системи та високофункціональні бетони на їх основі: дис. канд. техн. наук: 05.23.05 Львів, 2019. 432 с.
10. Kirakevych I., Sanytsky M., Shyiko O., Kagarlitskiy R. Modification of cementitious matrix of rapid-hardening high-performance concretes. *JTBP*. 2021. Vol. 3, №1, S. 79–84.
11. Kropyvnytska T., Sanytsky M., Rucińska T., Rykhliiska O. Development of nanomodified rapid hardening clinker-efficient concretes based on composite Portland cements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6 No.6 (102), С. 38–48.
12. Volianiuk A., Kropyvnytska T. Development of rapid-hardening high-strength fiber-reinforced concrete with increased impact resistance. *Journal of Theory and Practice of Construction*. 2025. Vol. 7, №2, С. 83–88.
13. Elfakhry, M.H., Zamrawi, A., Ibrahim, W. *et al.* Experimental study on the mechanical properties and structural performance of the rapid hardening concrete. *J. Eng. Appl. Sci.* **71**, 74 (2024). <https://doi.org/10.1186/s44147-024-00410-0>
14. Najm H., Balaguru P. Rapid Hardening Concrete Mixes. *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE. 2005.

References

1. Pozniak, O. R., Mazurak, O. T., & Marushchak, U. D. (2008). Peculiarities of hydration processes of Portland cement systems with polycarboxylate-based modifiers. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika» : Khimiia, tekhnolohiia rechovyh ta yikh zastosuvannia*, 609, 310–314 [in Ukrainian].
2. Kirakevych, I. I., Pozniak, O. R., & Marushchak, U. D. (2010). Fine-grained self-compacting concrete for road repair works. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 38, 333–338 [in Ukrainian].
3. Dvorkin L. Y., Babych Ye. M., Zhytkovskyi V. V. (2017). *High-strength rapid-hardening concretes and fiber-reinforced concretes*. Rivne : NUVHP 314 [in Ukrainian].
4. Kropyvnytska, T. P., Sanytskyi, M. A., & Heviuk, I. M. (2021). *Rapid-hardening clinker-efficient cements and concretes*. Lviv : Prostir-M [in Ukrainian].
5. Sanytskyi, M., Kropyvnytska, T., Heviuk, I., & Horpyenko, A. (2018). Vysokoiakisni shvydkotverdnuchi portlandtsementy vyrobnytstva PrAT «Ivano-Frankivsktsement». *Budivelni materialy ta vyroby*, 1-2(97), 34–37. [in Ukrainian].
6. Marushchak, U. D., & Olevych, Yu. V. (2017). Modified concretes for energy-efficient precast concrete technologies. *Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii : zbirnyk 34 tez dopovidei VI Mizhnarodnoi*

- naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv (pp. 138–139). Vol. 1. Ternopil [in Ukrainian].
7. Pozniak, O. R., Sanytskyi, M. A., Marushchak, U. D., & Kirakevych, I. I. (2010). Dribnozernysti samouschilniuvalni betony v monolitnomu budivnytstvi. *Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika : nauk.-tekhn. zb.* Kyiv : Znannia, 35, 78–83 [in Ukrainian].
 8. Sanytskyi, M. A., Pozniak, O. R., & Marushchak, U. D. (2013). *Energy-saving technologies in construction*. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. [in Ukrainian].
 9. Marushchak, U.D. (2019). *Nanomodified ultra-fast-hardening cementitious systems and high-performance concretes based on them*. Candidate's thesis. Lviv [in Ukrainian].
 10. Kirakevych, I., Sanytsky, M., Shyiko, O., & Kagarlitskiy, R. (2021). Modification of cementitious matrix of rapid-hardening high-performance concretes. *JTBP*, Vol. 3, №1, P. 79–84.
 11. Kropyvnytska, T., Sanytsky, M., Rucińska, T., & Rykhlitska, O. (2019). Development of nanomodified rapid hardening clinker-efficient concretes based on composite Portland cements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 6, No.6 (102), P. 38–48.
 12. Volianiuk, A., & Kropyvnytska, T. (2025). Development of rapid-hardening high-strength fiber-reinforced concrete with increased impact resistance. *Journal of Theory and Practice of Construction*. Vol. 7, №2, P. 83–88.
 13. Elfakhry, M.H., Zamrawi, A., Ibrahim, W. *et al.* (2024). Experimental study on the mechanical properties and structural performance of the rapid hardening concrete. *J. Eng. Appl. Sci.* 71, 74 <https://doi.org/10.1186/s44147-024-00410-0>
 14. Najm, H., & Balaguru, P. (2005). Rapid Hardening Concrete Mixes Journal of Materials in Civil Engineering, *ASCE*.

Ivan Skrynnik, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Marianna Fedotova**, PhD tech. sci., **Viktor Darienko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Yatsun**, Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

The use of Rapid-Hardening Cement Components in Concrete During the Construction of Buildings and Structures at Construction Sites

The article considers modern approaches to the creation of nanomodified ultra-fast-hardening cementing systems based on Portland cement and high-performance concretes based on them. The problems of ensuring intensive strength gain of concrete in the early stages of hardening under conditions of increased mobility of concrete mixtures are analyzed. The feasibility of using the nanotechnological concept of controlling the structure formation of cement stone in order to regulate the kinetics of hydration processes and form a dense microstructure of concrete is substantiated.

It has been shown that the use of nanomodifiers allows for the production of highly functional concretes with increased strength, durability, and operational reliability without the need to use special types of cements. The modern development of construction technologies is accompanied by increasing requirements for manufacturability, functional efficiency, durability and operational reliability of building materials. In these conditions, highly functional concretes, made from highly mobile concrete mixtures and characterized by regulated construction and technical properties, acquire special importance. One of the key requirements for such materials is to ensure intensive strength gain of concrete in the early hardening period, especially when using concrete mixtures with increased mobility.

This necessitates the use of ultra-rapid-hardening cements or cementing systems capable of providing accelerated development of the structure and formation of the bearing capacity of the material at the initial stages of hardening. In this regard, a relevant direction is the development of modified ultra-rapid-hardening cementing systems based on Portland cement clinker, which can be integrated into traditional technological schemes for concrete production.

fine-grained concrete, hydraulic structures, waterproofing, frost resistance, durability, modified concretes

Одержано (Received) 16.02.2026

Прорецензовано (Reviewed) 02.03.2026

Прийнято до друку (Approved) 10.03.2026