

О.О. Шишкіна,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0003-3716-9347

О.О. Шишкін,

докт. техн. наук, професор

ORCID: 0000-0003-3331-1422

Криворізький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ СТИСНУТИХ БЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

У статті описано результати визначення впливу надмалих доз поверхнево-активних речовин на міцність штучного каменю, отриманого на суміші нанопорошків. метою роботи є визначення ефективності застосування поверхнево-активних речовин у надмалих дозах при твердінні суміші нанопорошку цементу та нанопорошку карбонату кальцію та гіпсу. Методика проведення експериментів включає в себе наступні методи: аналіз досліджень застосування нанопорошків та поверхнево-активних речовин; стандартні методи випробувань будівельних матеріалів; порівняльний аналіз; систематизація і узагальнення закордонного та вітчизняного досвіду. У результаті проведеного дослідження було визначено вплив поверхнево-активних речовин, застосованих у надмалих дозах на міцність штучного каменю, утвореного в наслідок твердіння нанопорошку карбонату кальцію та цементу. Доведено, що в цьому випадку дія надмалих доз поверхнево-активних речовин полягає у зменшенні кількості відкритих пор у цементному камені. Експериментальні дослідження підтвердили, що молекули поверхнево-активних речовин, таких як гіперпластифікатори або інші значно змінюють рН води, що використовується для виготовлення бетону. Підвищення механічної міцності отриманого штучного каменю дозволяє замінити частину нанопорошку цементу нанопорошком з більш дешевого мінералу. Встановлено, що збільшення водоцементного відношення у суміші нанопорошків призводить до підвищення ефективності надмалих доз поверхнево-активних речовин у формуванні міцності на стиск. Висвітлені наукові матеріали стали відправною точкою для осмислення досліджуваного питання. Виявлено та обгрунтовано вплив надмалих доз поверхнево-активних речовин на міцність штучного каменю, отриманого на суміші нанопорошків. Результати дослідження можуть бути використані при виробництві бетонних та залізобетонних виробів та конструкцій.

Ключові слова: цемент, кальцію карбонат, гіпс, поверхнево-активні речовини, міцність, каталіз.

Постановка проблеми. Бетон, як будівельний конструкційний матеріал, переважно схильний до руйнування через розповсюдження дефектів типу тріщин. Тому процес руйнування в бетоні не проходить миттєво, а триває від моменту утворення тріщин і до початку їх критичного росту.

Як свідчить досвід, під час експлуатації будівель і споруд часто трапляються випадки, коли проектні умови роботи споруди (будинку) внаслідок різноманітних

чинників порушуються. Це призводить до зміни розрахункової схеми споруди, може викликати додаткові навантаження, що супроводжується додатковим збільшенням напружень в елементах та появою і ростом в них тріщин.

Для запобігання аварійного стану бетонних конструкцій у значених випадках випадках потрібна надійна методика підвищення придатності конструкції до подальшої експлуатації.

Найбільшою загрозою напружено-деформованому стану зокрема елементів конструкцій, які піддаються дії напружень стиску, є тріщини. Характерною особливістю тріщин у стиснутому бетонному елементі є їх однонаправленість із зусиллям стиску. Тобто, при стискуванні бетонного елемента, внаслідок виникнення напруг, направлених перпендикулярно напрямку сил стиску, утворюються повздовжні тріщини. В процесі збільшення напруг стиску відбувається зростання та розкриття тріщин, що супроводжується «збільшенням» розмірів елемента в площині перпендикулярній напрямку дії сил стискування. В будівельних конструкціях кінці їх елементів надійно закріплюються, що унеможливує або зменшує можливість у цьому місці зміни розмірів елемента. Тому найбільше розкриття тріщин відбувається в елементі в середині його висоти (довжини), або у найбільш наближеному до неї місці.

Вочевидь, зменшення можливості деформування бетонного елемента в площині перпендикулярній напрямку дії стискальних сил (напруг) дозволить обмежити утворення та розкриття тріщин, тим самим збільшивши навантаження, які може витримати елемент без руйнування.

На цей час відомі та використовуються наступні методи обмеження деформування бетонного елемента в площині перпендикулярній напрямку дії стискальних сил (напруг):

- зовнішнє армування (сталезалізобетонні конструкції);
- зовнішнє армування напруженою арматурою;
- зовнішнє армування наклеюванням композитного матеріалу.

Усі перелічені методи мають свої переваги, а саме зменшення поперечного розширення (а тому і тріщиноутворення) елемента, який стискають. На сьогодні активно проводяться науково-пошукові роботи по дослідженню сталезалізобетонних конструкцій. Сталезалізобетон, маючи, без сумніву, позитивні якості, не може повністю замінити ні сталеві, ні залізобетонні конструкції, що використовуються в будівництві. Адже існують недоліки цього методу, основним з яких є складність виконання бетонування елемента.

Застосування зовнішнього попередньо напруженого армування, також як і зовнішнє армування наклеюванням композитного матеріалу, володіють суттєвими недоліками. Зовнішнє попередньо напружене армування потребує розроблення спеціальної технології та додаткового обладнання. Використання зовнішнього армування наклеюванням композитного матеріалу обмежено високою вартістю матеріалів.

Наведене призвело до необхідності розробки технології підвищення несучої здатності стиснутих елементів будівельних конструкцій, яка б мала мінімум недоліків, якими володіють відомі методи.

За параметри оптимізації в досліджах було прийнято:

- мінімізація витрат додаткових матеріалів;
- мінімізація ускладнень технології;
- мінімізація термінів готовності елемента до експлуатації;

- максимізація ефекту застосування розробленої технології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автори багатьох наукових робіт відзначають більш високу ефективність багатокомпонентних реакцій (БКР) порівняно з багатоступеневими синтезами та можливість автоматизації синтезу на їх основі. Крім того, нові БКР та варіанти вже добре відомих реакцій відкривають доступ до величезної різноманітності структур, у тому числі природного походження, які можуть проявляти широкий діапазон хімічної активності, а діапазон доступних сполук постійно збільшується. збільшується. Слід зазначити, що використання каталітичних методів підвищення ефективності БКР має особливу специфіку. Такі перетворення є складними системами, що складаються з мережі підреакцій; тому традиційні методи прискорення хімічних процесів (використання високих температур, кислот або лугів) часто не дають бажаного результату. Зазвичай вони діють неселективно, прискорюючи побічні двокомпонентні реакції, що призводить до появи в системі небажаних продуктів. Методи, що підвищують ефективність хімічного синтезу, включають використання наномодифікованої води [1–4], міцелярних розчинів [4–7], а також неорганічних сполук (глини, цеоліти, силікагель, оксиди металів, вуглецеві нанотрубки, нановолокна) [4, 8–14]. Використання цих методів дозволило значно розширити сферу старих, добре відомих реакцій і відкрити ряд нових. Останніми роками цей підхід знайшов застосування в сфері БКР. Ефект від використання всіх відомих неорганічних сполук, що використовуються як нанокаталізатори для реакцій гідратації компонентів портландцементу, значно підвищується при додатковому введенні поверхнево-активних речовин органічного походження. При цьому штучно створюються міцели поверхнево-активних речовин, які заповнюються неорганічними сполуками. Явище зміни властивостей води при введенні в неї міцел ПАР було відзначено лише в невеликій кількості досліджень [1]. У той же час слід зазначити, що всі неорганічні сполуки, які в даний час використовуються для каталізації реакцій гідратації, неактивні або неактивні щодо води.

Метою дослідження є визначення на прикладі гіпсу та крейди впливу неорганічної речовини, як поверхнево-активних порошоків, що використовується одночасно з колоїдною поверхнево-активною речовиною, на міцність дрібнозернистого бетону та швидкість формування його структури. Відповідно до поставленої мети, завданнями дослідження є визначення залежності міцності бетону від кількості гіпсу та крейди як за наявності колоїдної поверхнево-активної речовини, так і без неї; визначити вплив колоїдної поверхнево-активної речовини на ефективність гіпсу та крейди як компонента заповненої міцели – каталізатора реакції гідратації компонентів портландцементу, при цьому спостерігати за підвищенням міцності бетону.

Матеріали та методи. Для виробництва бетону використовували шлакопортландцемент ШПЦ Ш/А-400 (ПрАТ «Heidelbergcement Кривий Ріг», Україна). В якості реакційного порошку використовували будівельний гіпс та крейду, подрібнені до питомої поверхні 300 м²/кг. Як міцелярну поверхнево-активну речовину (MPAR) використовували олеат натрію (Simagchem Corp., Китай).

Компоненти бетонної суміші дозували в необхідних кількостях, згідно плану дослідів, перемішували лабораторним міксером протягом 2 хв. Отриману суміш містили з вібраційним ущільнювачем у металевій формі з розміром сторони 16 x 4

х 4 см. Сформовані таким чином зразки бетону тверділи протягом 28 діб при вологості навколишнього середовища $70 \pm 10\%$ і температурі навколишнього середовища $293 \pm 2\text{K}$.

Результати дослідження.

Міцність на стиск штучного каменю, отриманого в результаті гідратації дисперсної системи «Шлакопортландцемент – гідрофобна поверхнево-активна речовина – реакційно-здатний порошок», при використанні в якості реакційно-здатного порошку меленого гіпсу або крейди, у віці 7 діб вище міцності штучного каменю, отриманого на основі портландцементу без добавок (рис. 1). Таке ж явище спостерігається і у віці 28 днів (рис. 2).

В той же час, як показують результати експериментів (рис. 1 та рис. 2), за своєю спроможністю впливати на міцність штучного каменю, отриманого на основі шлакопортландцементу, гіпс і крейда однаково ефективні.

Гідрофобна поверхнево-активна речовина здійснює вплив на міцність штучного каменю, отриманого в наслідок твердіння дисперсної системи «Шлакопортландцемент – гідрофобна поверхнево-активна речовина – реакційно-здатний порошок» на протязі досліджень (до 28 діб) (рис. 3, 4).

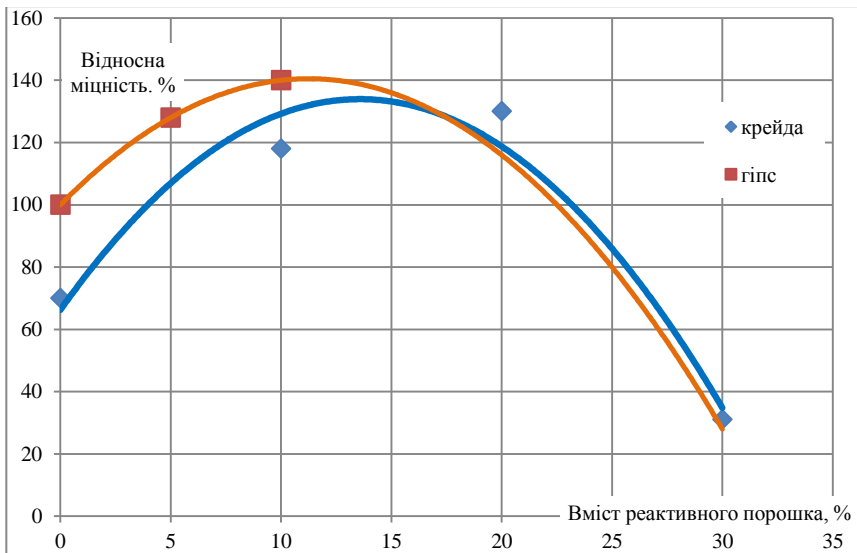


Рис. 1. Міцність штучного каменю у віці 7 діб

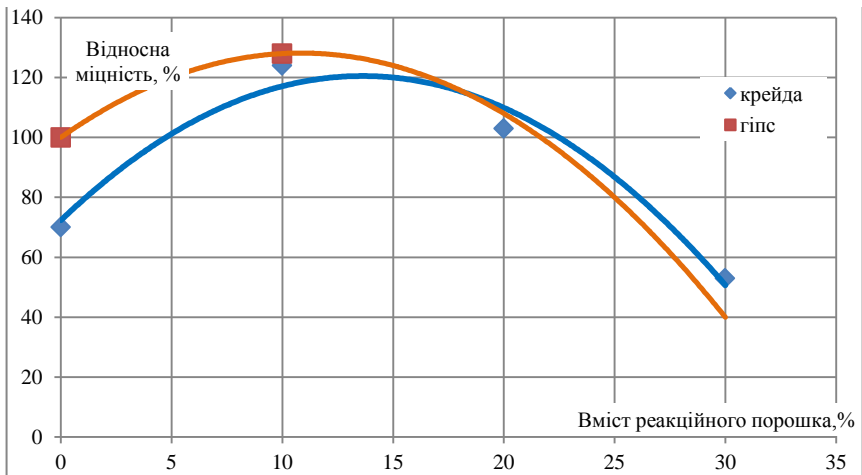


Рис. 2. Міцність штучного каменю у віці 28 діб

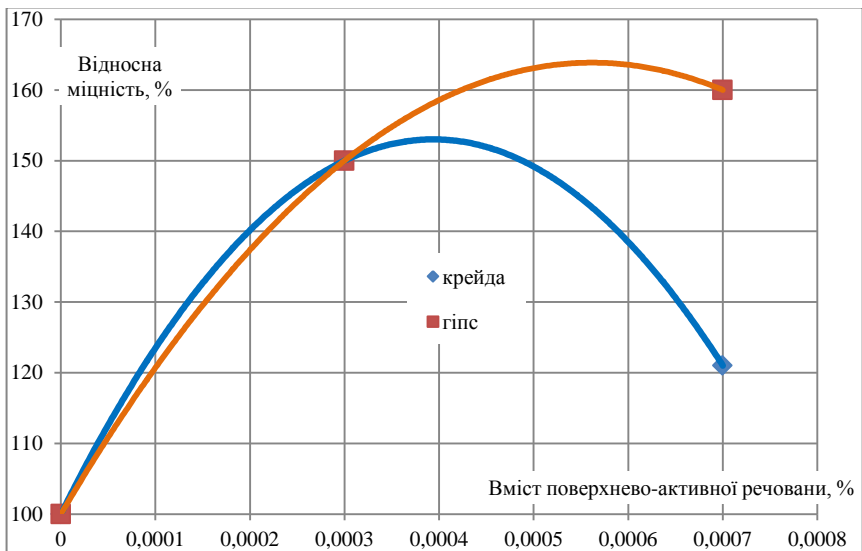


Рис. 3. Вплив поверхнево-активної речовини на міцність штучного каменю у віці 7 діб

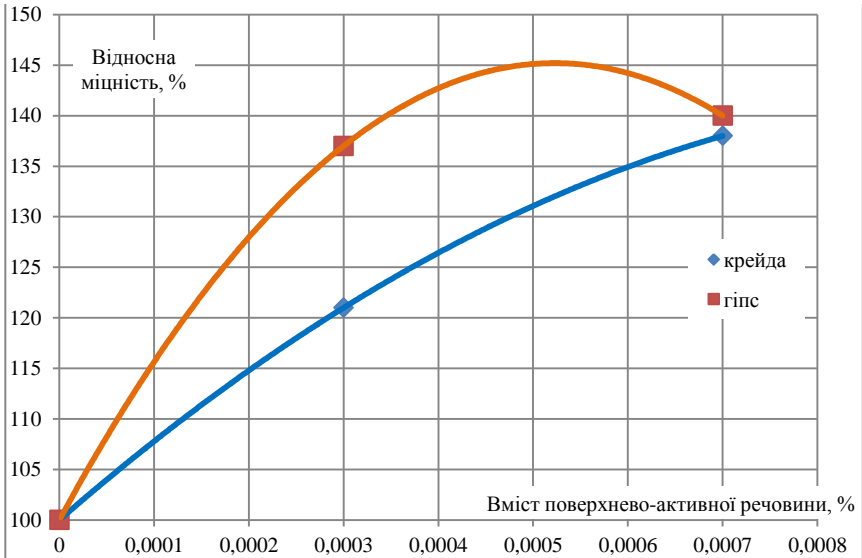


Рис. 4. Вплив поверхнево-активної речовини на міцність штучного каменю у віці 28 діб

Аналіз результатів досліджень показав, що одночасне додавання в шлакопортландцемент реакційного порошку у вигляді крейди або гіпсу та гідрофобного поверхнево-активної речовини призводить до збільшення швидкості формування структури штучного каменю. Такий висновок ґрунтується на результатах досліджень, наведених на рис. 5, які показують значний приріст міцності штучного каменю в ранньому віці (7 діб).

Таким чином, наявність в дисперсній системі комплексної поверхнево-активної речовини (ПАР) забезпечує підвищення міцності на стиск отриманого штучного каменю.

Висновки.

Проведені дослідження та їх результати показали, що використання міцел колоїдних поверхнево-активних речовин, наповнених гіпсом або крейдою, призводить до підвищення ефективності використання обох компонентів. Означений комплекс поверхнево-активних речовин посилює ефект каталізу реакцій гідратації компонентів шлакопортландцементу. Збільшення швидкості гідратації компонентів шлакопортландцементу забезпечує підвищення продуктивності виробництва бетонних і залізобетонних конструкцій а також здійснення робіт по підсиленню елементів будівельних конструкцій, які працюють на стиск.

Простота отриманої технології та ефект від її застосування, встановлений в процесі проведених експериментів, обумовлює її перспективність і доцільність подальших досліджень.

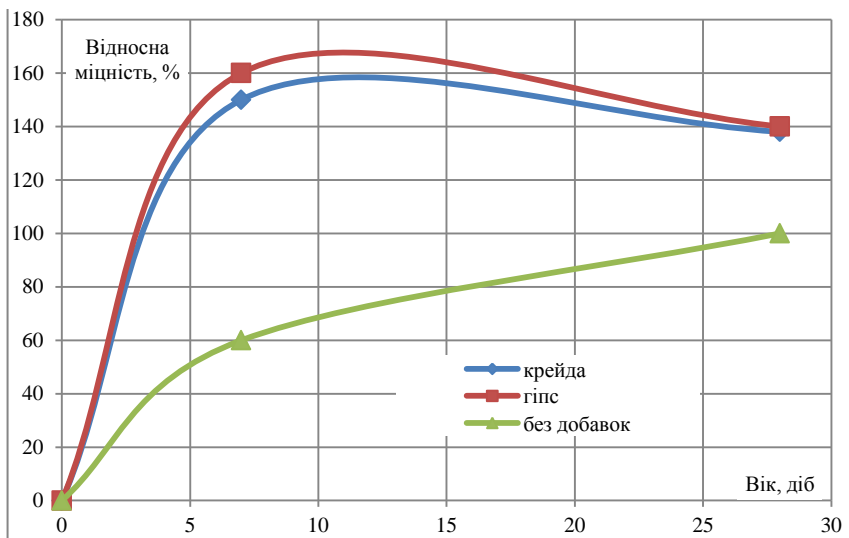


Рис. 5. Зміна міцності штучного каменю з часом

Список літератури:

1. Shyshkina A., Shyshkin A. Study of the nanocatalysis effect on the strength formation of reactive powder concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. 1/6(79). P. 55-60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.58718>
2. Shyshkina A., Shyshkin A. Fine-Grained Concrete for Repair and Restoration of Building Structures. *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1038. P. 317-322. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.317
3. Shyshkina A., Shyshkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 907: 012038. DOI 10.1088/1757-899X/907/1/012038
4. Shyshkin A., Shyshkina A. Application of colloid surface-active substances as a nanocatalyst of reactions cement hydration. *European Journal of Applied Sciences*, 2021. 9(5). P. 83-99. DOI: <https://doi.org/10.14738/aivp.95.10888>
5. Shyshkina A. Shyshkin A.. Study of the effect of micellar catalysis on the strength of alkaline reactive powder concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. 3/6(93). P. 46-51. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133445>
6. Berezin I.V., Martinek K., Yatsimirsky A.K. Physicochemical foundations of micellar catalysis. *Russ. Chem. Rev.* 1973, 42(10). P. 1729-1756. <https://doi.org/10.1070/RC1973v042n10ABEH002744>.
7. Шишкіна А.А., Шишкін А.А. Влияние модифицированного каолина на прочность порошкового бетона. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 91, №1. С. 169-172.
8. Деревянко В.Н., Чумак А.Г., Телянов В.А., Кондратьева Н.В. Наномодификация структуры гипсовых вяжущих. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2012. №6. С. 31–36.

9. Королев Е.В. Нанотехнология в строительном материаловедении. Анализ состояния и достижений. Пути развития. *Строительные материалы*. 2014. №11. С. 47–79.
10. 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), 32–35.
11. Byung-Wan Jo, Chang-Hyun Kim, Ghi-ho Tae, Jong-Bin Park. Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles. *Construction and Building Materials*. 2007. Vol. 21, Issue 6. P. 1351-1355. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.020>
12. Morsy M.S., Alsayed S.H., Aqel M. Effect of Nano-clay on Mechanical Properties and Microstructure of Ordinary Portland Cement Mortar. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*. 2009. Vol. 10. No. 01. P. 23–27.
13. Shah S.P., Mondal P., Ferron R.P., Tregger N., Sun Z. Next horizon in high performance concrete: Self-consolidating concrete and nanotechnology. *Indian Concrete Journal*, 2008, 82(1), 9-21.
14. Толмачев С.Н., Беличенко Е.А. Перспективы применения наночастиц в бетонах транспортного назначения. *Строительные материалы и изделия*. 2017. № 1-2. С. 38-41.

Reference:

1. Shyshkina, A., Shyshkin, A. (2016). Study of the nanocatalysis effect on the strength formation of reactive powder concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 1/6(79), 55-60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.58718>
2. Shyshkina, A., Shyshkin, A. (2021). Fine-Grained Concrete for Repair and Restoration of Building Structures. *Materials Science Forum*. Vol. 1038, pp. 317-322. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.317.
3. Shishkina, A., Shishkin, A. (2020). Application of the easy concentration effect in concrete technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 907(1): 012038. DOI 10.1088/1757-899X/907/1/012038
4. Shyshkin, A., Shyshkina, A. (2021). Application of Colloid Surface-Active Substances as a Nanocatalyst of Reactions Cement Hydration. *European Journal of Applied Sciences*, 9(5), 83-99. DOI: <https://doi.org/10.14738/aivp.95.10888>
5. Shishkina, A., Shishkin, A. (2018). Study of the effect of micellar catalysis on the strength of alkaline reactive powder concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/6(93), 46-51. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133445>
6. Berezin, I.V., Martinek, K., Yatsimirsky, A.K. (1973). Physicochemical foundations of micellar catalysis. *Russ. Chem. Rev.*, 10, 1729-1756. <https://doi.org/10.1070/RC1973v042n10ABEH002744>
7. Shyshkina, A.A., Shyshkin, A.A. (2018). Influence of modified kaolin on the strength of powdered concrete. *Scientific bulletin of civil engineering*, 91(1), 169-172.
8. Derevianko, V.N., Chumak, A.G., Tel'yanov, V.A. Kondratieva, N.V. (2012). Nanomodification of the structure of gypsum binders. *Bulletin of PGASA*, 6, 31–36.
9. Korolev, E.V. (2014). Nanotechnologies in building materials science. Analysis of the state and achievements. Ways of development. *Construction materials*, 11, 47–78.
10. Ashani, H.R., Parikh, S.P., Markna, J.H. (2015). Role of nanotechnology in concrete a cement based material: a critical review on mechanical properties and environmental impact. *International Journal of Nanoscience and Nanoengineering*, 2(5), 32–35.
11. Jo, B.-W., Kim, C.-H., Tae, G., Park, J.-B. (2007). Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles. *Construction and Building Materials*, Vol. 21, Issue 6, 1351–1355.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.020>

12. Morsy, M.S., Alsayed, S.H., Aqel, M. (2009). Effect of Nano-clay on Mechanical Properties and Microstructure of Ordinary Portland Cement Mortar. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*. Vol. 10. No. 01, 23–27.

13. Shah, S.P., Mondal, P., Ferron, R.P., Tregger, N., & Sun, Z. (2008). Next horizon in high performance concrete: Self-consolidating concrete and nanotechnology. *Indian Concrete Journal*, 82(1), 9-21.

14. Tolmachev, S.N., Belichenko, E.A. (2017). Prospects for the use of nanoparticles in transport concrete. *Budivelnii materiali and virobi*, 1–2, 38–41.

O.O. Shyshkina, O.O. Shyshkin

Increase of bearing capacity concrete elements of building structures on compression

The article describes the results of determining the influence of ultra-small doses of surface-active substances on the strength of artificial stone obtained from a mixture of nanopowders. the purpose of the work is to determine the effectiveness of the use of surface-active substances in ultra-small doses during the hardening of a mixture of cement nanopowder and calcium carbonate and gypsum nanopowder. The methodology of conducting experiments includes the following methods: analysis of studies on the use of nanopowders and surface-active substances; standard methods of testing building materials; comparative analysis; systematization and generalization of foreign and domestic experience. As a result of the research, the influence of surface-active substances applied in ultra-small doses on the strength of the artificial stone formed as a result of the hardening of nanopowder of calcium carbonate and cement was determined. It has been proven that in this case, the action of ultra-small doses of surface-active substances consists in reducing the number of open pores in the cement stone. Experimental studies have confirmed that molecules of surface-active substances, such as hyperplasticizers or others, significantly change the pH of the water used to make concrete. Increasing the mechanical strength of the obtained artificial stone allows replacing part of the cement nanopowder with a cheaper mineral nanopowder. It was established that an increase in the water-cement ratio in the mixture of nanopowders leads to an increase in the effectiveness of ultra-small doses of surface-active substances in the formation of compressive strength. The highlighted scientific materials became the starting point for understanding the researched issue. The effect of ultra-small doses of surface-active substances on the strength of artificial stone obtained from a mixture of nanopowders was identified and substantiated. The results of the research can be used in the production of concrete and reinforced concrete products and structures.

Key words: *cement, calcium carbonate, gypsum, surfactants, strength, catalysis.*

Посилання на статтю:

APA: Shyshkina, O., & Shyshkin, O. (2023). Increase of bearing capacity concrete elements of building structures on compression. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 52(1), 3-11.

ДСТУ: Шишкіна О.О., Шишкін О.О. Підвищення несучої здатності стиснутих бетонних елементів будівельних конструкцій. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 52(1). С. 3-11.