

DOI <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.14>

УДК 691.32

ВПЛИВ НАДМАЛИХ ДОЗ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА МІЦНІСТЬ ШТУЧНОГО КАМЕНЮ, ОТРИМАНОВОГО ІЗ СУМІШІ НАНОПОРОШКІВ

Шишкін Олександр Олексійович¹, Домнічев Андрій Олександрович²

¹Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології будівельних виробництв, матеріалів та конструкцій

Криворізького національного університету, Кривий Ріг, Україна,
e-mail: 5691180@gmail.com, orcid: 0000-0003-3331-1422

²Магістр, аспірант кафедри технології будівельних виробництв, матеріалів та конструкцій
Криворізького національного університету Кривий Ріг, Україна,
5691180aa@gmail.com, orcid: 0000-0001-5916-3160

Анотація. У даній статті писано результати визначення впливу надмалих доз поверхнево-активних речовин на міцність штучного каменю, отриманого на суміші нанопорошків

Мета. визначити ефективність застосування поверхнево-активних речовин у надмалих дозах при твердінні суміші нанопорошку цементу та нанопорошку карбонату кальцію.

Методологія. Включає в себе наступні методи: композиційний та функціональний аналіз; аналіз досліджень застосування нанопорошків та поверхнево-активних речовин; метод формалізації; стандартні методи випробувань будівельних матеріалів; порівняльний аналіз; систематизація і узагальнення закордонного та вітчизняного досвіду.

Результати. 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. Проаналізовано міжнародний досвід застосування поверхнево-активних речовин та нанопорошків. 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.

Наукова новизна. Виявлено та обґрунтовано вплив надмалих доз поверхнево-активних речовин на міцність штучного каменю, отриманого на суміші нанопорошків.

Практична значущість. Результати дослідження можуть бути використані при виробництві бетонних та залізобетонних виробів та конструкцій.

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

ВСТУП

Цементний камінь – один із найстаріших продуктів нанотехнологій, який досі використовується людиною. Цей висновок заснований на тому, що вихідними компонентами, в результаті взаємодії яких утворюється цементний камінь, є цементні частинки, розмір яких зазвичай не перевищує 100 мкм, і вода. Тобто розмір вихідних компонентів цементного каменю відповідає поняттю «нано».

Істотним недоліком штучного каменю, отриманого у процесі гідратації наночастинок цементу, є його значна водопроникність, що є наслідком пористості, що утворюється за рахунок видалення надлишкової вологи в процесі гідратації системи.

Як відомо [3, 9], кількість води, що додається до цементу при приготуванні бетону, значно більша, ніж потрібно для її хімічного зв'язування в продуктах твердіння цементу. Надлишок води випаровується, залишаючи пори, що збільшує пористість цементного каменю та підвищує його проникність для зовнішніх середовищ, а отже, знижує стійкість та довговічність.

Одним із основних методів зниження водопроникності цементного каменю та підвищення його міцності в даний час є зниження водоцементного відношення [8]. Однак цей метод має обмеження у застосуванні, оскільки зменшення водоцементного відношення завжди тягне за собою не тільки підвищення міцності цементного каменю [8, 11, 14], а й зниження зручності укладання бетонної суміші [2, 15–17], що не завжди доцільно та вимагає додаткових заходів щодо підвищення легкості зручності бетонної суміші.

Ще одним способом збільшення щільності цементного каменю можна визнати спосіб зменшення кількості води, що випаровується з цементного каменю. Очевидно, що чим більше води буде пов'язано у стійкі міцні мінерали при твердінні цементу, тим менше буде усадка цементного каменю і тим вища його щільність і, відповідно, міцність. Це узгоджується з висновком, зробленим у роботі [10], про те, що як в'язучу речовину для бетону краще використовувати ту, твердіння якої супроводжується міцним, стійким зв'язуванням максимальної кількості води при помірній усадці і, відповідно, значному

збільшенні об'єму твердої фази, що утворилася, в порівнянні з об'ємом вихідної твердої фази. Це положення підтверджується даними, наведеними в [10], про те, що при переведенні алюмінатів в більш складну форму, наприклад, сульфоалюмінати, спостерігається значне зменшення дефектів структури цементного каменю за рахунок мікроармуючої дії структур цементного каменю. Крім того, збільшення вмісту води в затверділому цементному камені [10], призводить до збільшення модуля пружності цементного каменю, тобто зниження його деформованості під дією експлуатаційних навантажень.

Одними з найбільш відомих мінералів, що утворюються в результаті взаємодії нанопорошку цементу з водою і містять значну кількість хімічно зв'язаної води, є два гідросульфоалюмінати $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot (31-32) \cdot H_2O$ та $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$ [4]. Ці мінерали визначають корозійну стійкість системи в агресивних середовищах, а також зв'язують значну кількість води, підвищують густину цементного каменю та величину його початкового модуля пружності. Однак кількість цих мінералів у відомих дисперсійних системах на основі нанопорошку портландцементу обмежена. Крім того, високосульфатована форма гідросульфоалюмінату кальцію термодинамічно нестабільна. Як показано в роботі [8] з посиланням на дослідження Джонса, Калоусека, Гріна, П.П. Буднікова та В.С. Горшкова після повного хімічного зв'язування гіпсу в умовах гідратації нанопорошку цементу з рідкої фази кристалізуються кристали твердої розчину за складом, близьким до малосульфатної форми гідросульфоалюмінату кальцію. Це супроводжується виділенням води, хімічно пов'язаної у первинному еtringіті, і лише після кількох років твердіння бетону в його складі вміст еtringіту (вторинного) іноді фіксується знову [8]. За певних умов введення в систему «цементний нанопорошок – вода», що твердіє, карбонатів або хлоридів кальцію, згідно з [8], утворюються карбо- та хлоралюмінати кальцію типу монокарбоалюмінатів кальцію $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$ та монохлоралюмінати кальцію $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 11H_2O$. Ці мінерали, проте, недостатньо стабільні і розкладаються за температури вище 70°C.

Крім того, суміш нанопорошку цементу і нанопорошку гіпсу скорочує час твердіння і знижує міцність штучного каменю. Суміш нанопорошку цементу з нанопорошком карбонату кальцію та нанопорошком має підвищений час твердіння [4], а застосування хлориду кальцію обмежене через підвищену корозію арматури у виробках. Інші види нанопорошків різних речовин [1, 4–7, 12, 13] не забезпечують такої величини зв'язування води. Тому проблема збільшення швидкості формування структури системи «наночастинки цементу – наночастинки карбонату кальцію – вода» є актуальною.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Поліпшення властивостей цементів, зокрема підвищення міцності їхнього каменю та швидкості її формування, в даний час ведеться за трьома основними напрямками: модифікація структури цементного каменю [2, 6, 8, 10, 11]; каталіз реакцій, що протікають у системі «цемент – вода» [9–15], зокрема використання ефекту наднизьких концентрацій [9–12]; цілеспрямоване регулювання мінералогічного складу в'язучого.

Найбільш перспективним способом покращення властивостей бетону є використання каталізу реакцій, що протікають у системі «наночастинки цементу – вода». Цей висновок заснований на самій сутності процесу каталізу, коли до продуктів реакції між речовинами, що взаємодіють між собою, не додаються сторонні (додаткові) речовини.

МЕТА

визначити ефективність застосування ПАР у надмалих дозах при твердінні суміші нанопорошку цементу та нанопорошку карбонату кальцію. Для досягнення поставленої мети повинні бути вирішені наступні завдання:

- встановити величину впливу наднизьких концентрацій ПАР на міцність штучного каменю, отриманого в результаті твердіння суміші нанопорошку цементу і нанопорошку карбонату кальцію;
- встановити величину впливу надмалих доз ПАР на швидкість формування міцності штучного каменю, одержаного в результаті твердіння суміші нанопорошків цементу та карбонату кальцію.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У роботі використаний портландцемент 42,5 «Heidelberg Cement. Кривий Ріг» (Україна) з розміром частинок до 80 мкм, крейдяний порошок з розміром частинок до 80 мкм (м. Кривий Ріг, Україна), як дрібний

наповнювач – відходи збагачення залізних руд Південного гірничо-збагачувального комбінату (Кривий Ріг, Україна) які мають розмір частинок від 0,001 до 0,63 мм. В якості гідрофільної міцелоутворюючої поверхнево-активної речовини (МПАР) використовували гіперпластифікатор Sika Plast-520. Sika Plast-520 розчиняли у воді. Водний розчин поверхнево-активної речовини в кількості, розрахованій за схемою експерименту, додавали в ємність з дозованою кількістю води для змішування бетону.

Бетонну суміш готували у змішувачі примусової дії об'ємом 25 літрів. Компоненти дозували масою, спочатку змішуючи сухі компоненти, а потім додаючи водний розчин ПАР або тільки воду. Час змішування однієї суміші становив 3 хвилини. Контрольні зразки розміром 40x40x160 мм формували на лабораторному стандартному вібростенді з частотою вібрації 50 Гц і амплітудою 0,35–0,5 мм. Зразки зберігали при температурі (293±2)К та відносній вологості (95±5)% і визначали в різному віці міцність на стиск отриманого штучного каменю відповідно до вимог стандартів.

Було проведено три серії дослідів. У першій серії експериментів, виконаних на «системі нанопорошок цемент – вода – нанопорошок карбонату кальцію», вивчався вплив кількості ПАР, що вводиться як нанокаталізатор, на зміну міцності на стиску одержуваного штучного каменю.

У другій серії експериментів, проведених на системі «нанопорошок цементу – вода – нанопорошок карбонату кальцію», вивчався вплив кількості ПАР, що вводиться як нанокаталізатор, на зміну міцності на вигін штучного каменю.

У третій серії експериментів, проведених на системі «нанопорошок цементу – вода – нанопорошок карбонату кальцію», вивчалася зміна міцності на стиск отриманого штучного каменю в часі при оптимальному вмісті ПАР.

На рис. 1 показано зміну відносної міцності на стиск штучного каменю, що утворився в результаті твердіння системи «нанопорошок цементу – нанопорошок карбонату кальцію – вода – ПАР», в залежності від вмісту ПАР в системі. Оптимальний вміст ПАР за міцністю варіювався від 0,00025 до 0,00028% від маси нанопорошків.

Насамперед слід зазначити наявність найбільшого ефекту наномодифікації, який показало застосовуване ПАР (збільшення міцності на стиск у 7-денному віці на 70%, а у 28-денному віці на 25% по відношенню до міцності бетону контрольного складу). Це підтверджує наявність каталітичного ефекту

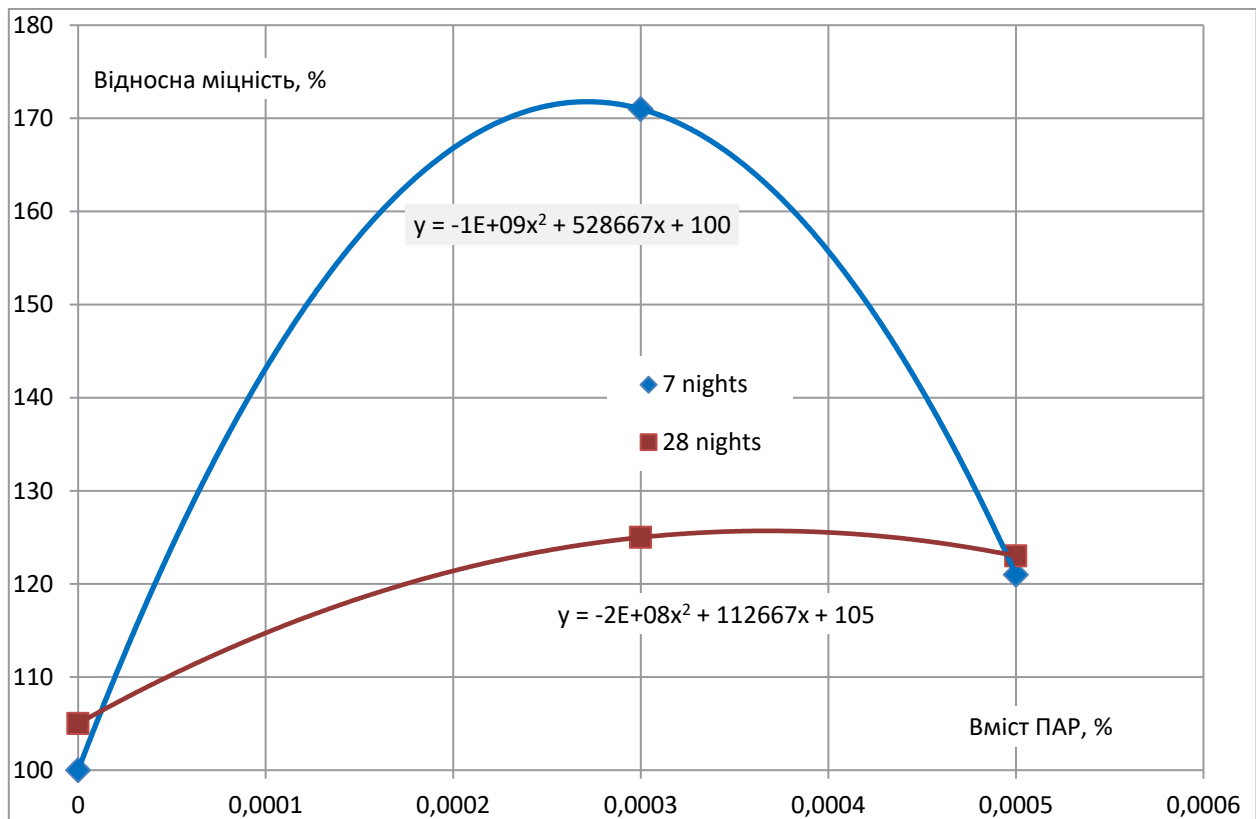


Рис. 1. Вплив вмісту ПАР на міцність цементного каменю при стиску

від застосування ПАР у наднизьких концентраціях.

Обробка результатів експериментів, результати яких представлені на рис. 1, за допомогою Microsoft Excel дозволила отримати рівняння міцності штучного каменю від вмісту поверхнево-активних речовин:

– твердіння бетону 7 днів

$$y = -1E+09 \cdot x^2 + 528667 \cdot x + 100 \quad (1)$$

– твердіння бетону 28 днів

$$y = -2E+08 \cdot x^2 + 112667 \cdot x + 105 \quad (2)$$

у – значення відносної міцності бетону, що визначається в %,

х – сума витрат ПАР, що визначається в %.

Мікродози ПАР впливають на величину міцності отриманого штучного каменю на вигін дещо інакше, ніж на міцність на стиск (рис. 2).

Обробивши результати експериментів, результати яких представлені на рис. 2, за допомогою Microsoft Excel вдалося отримати рівняння міцності на вигін штучного каменю за вмістом ПАР:

– Відношення маси води до маси нанопорошків 0,5

$$y = -4E+08 \cdot x^2 + 175333 \cdot x + 109 \quad (3)$$

– Відношення маси води до маси нанопорошків 0,6

$$y = -4E+08 \cdot x^2 + 259333 \cdot x + 100 \quad (4)$$

у – значення відносної міцності бетону, що визначається в %,

х – сума витрат ПАР, що визначається в %.

Аналіз зміни міцності на стиснення штучного каменю, отриманого при затвердінні суміші нанопорошків цементу і карбонату кальцію (рис. 3), підтвердив каталітичний ефект ПАР, що застосовується в надмалих дозах. При цьому каталітичний ефект зростає із збільшенням вмісту води.

ВИСНОВКИ

Результати дослідження показують, що введення надмалих доз ПАР у суміші нанопорошків цементу та карбонату кальцію призводить до збільшення міцності одержуваного штучного каменю не тільки на стиск, але і на вигін. Міцність штучного каменю, отриманого в результаті твердіння суміші нанопорошків цементу і карбонату кальцію в присутності надмалих доз поверхнево-активних речовин, у віці 28 діб не менше ніж на 25% вище у порівнянні з міцністю штучного каменю, отриманого на основі тільки нанопорошків цементу,

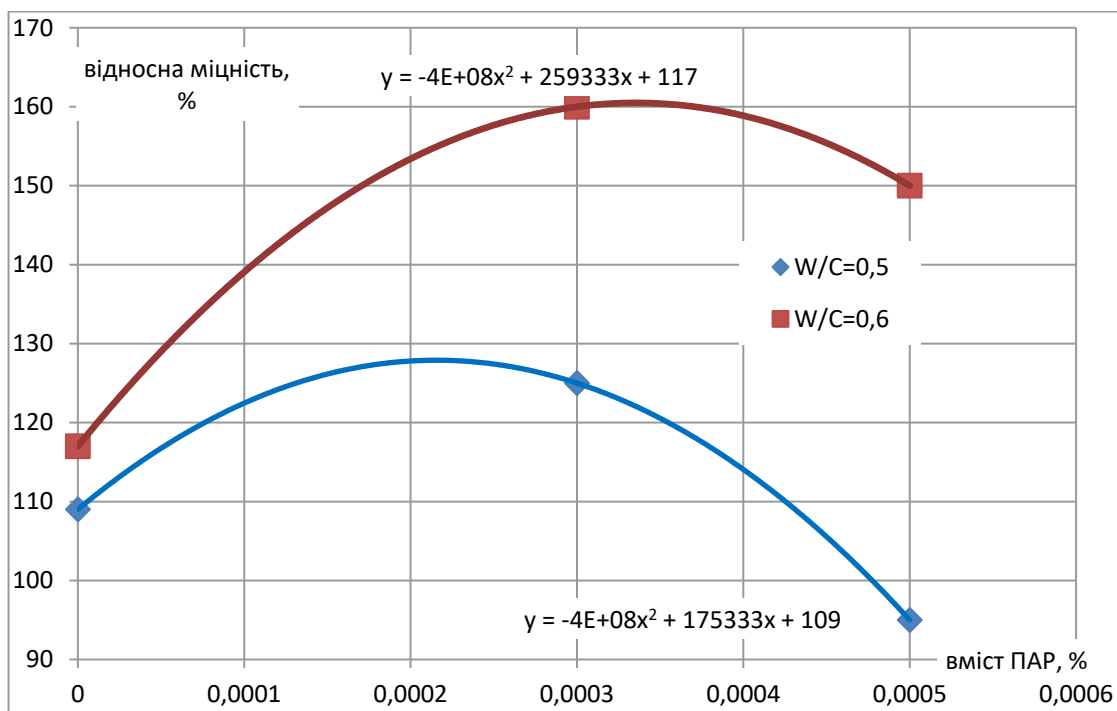


Рис. 2. Вплив вмісту ПАВ на міцність цементного каменю при згинанні

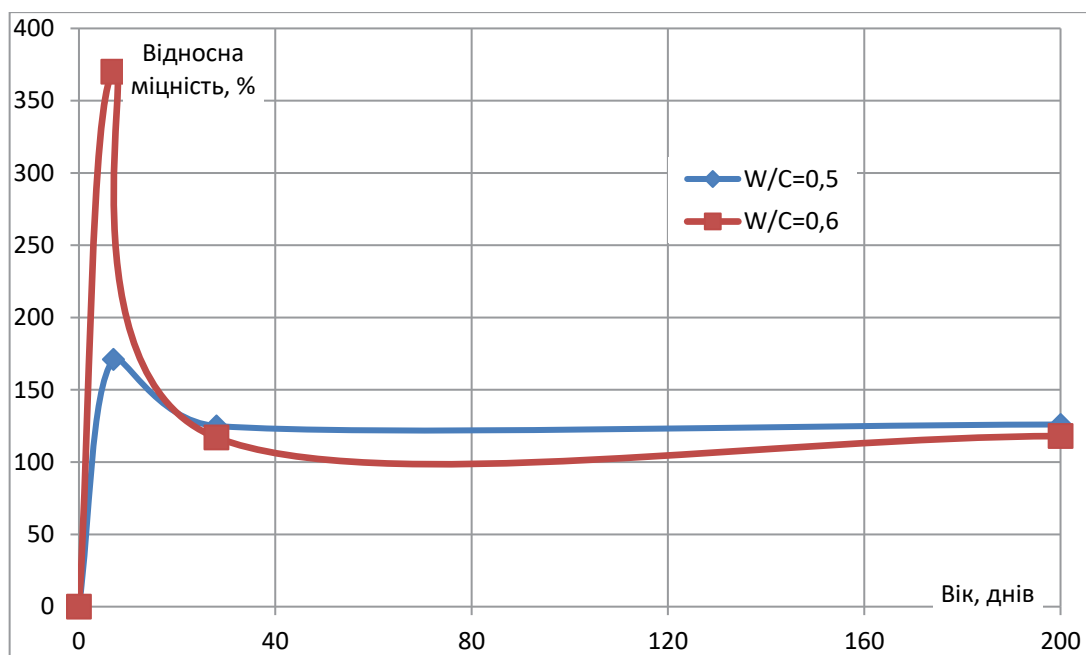


Рис. 3. Зміна відносної міцності штучного каменю з часом

який твердів без добавок та не менше ніж на 60% у віці до 7 діб. Таким чином, введення ПАВ в нанопорошок цементу в надмалих дозах призводить до значного збільшення міцності одержуваного штучного каменю при заміні 20% цементу нанопорошку нанопорошком карбонату кальцію. Дослідження показало сильний вплив мікродоз ПАВ на якість та пористість

дрібнозернистого бетону, що має підвищити міцність та знизити пористість. Завдяки цьому можна констатувати, що мікродози ПАВ суттєво впливають на зміну характеру процесів твердіння та структуроутворення цементного каменю. За рахунок введення мікродоз ПАВ механічна міцність цементного каменю підвищується до 25%. Це дозволяє говорити про

ефективність використання надмалих доз ПАР у таких технологічних операціях, як створення сумішей певних нанопорошків із цементним нанопорошком. Це свідчить про можливість цілеспрямованого регулювання формування міцної структури цементного каменю за рахунок застосування ПАР у надмалих дозах при

ЛІТЕРАТУРА

[1] Беліченко О.А., Толмачев С.М. Дослідження фізико-хімічних властивостей водних суспензій мікронаповнювачів з суперпластифікаторами. Збірник наукових праць Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне. 2020. 38. с. 66-79.

[2] Вандоловський О. Г., Шептун С. Ю. Реологічні особливості ущільнення дрібнозернистої бетонної суміші в палях, які формують в попередньо сформованих свердловинах. Науковий вісник будівництва. 2020. Т. 99. № 1. С. 42-48.

[3] Вандоловський О. Г. Міцнісні властивості особливо дрібнозернистого бетону на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів у ролі заповнювача. Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2016. 160. с. 17-24.

[4] Шишкін О. О. Особливості дисперсної системи «гідралічне в'язуче-комплексна гідрофільна поверхнево-активна речовина» Resource- and energy-saving technologies in the chemical industry: Scientific monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2022. с. 117-143.

[5] Шишкіна, О. Шишкін, О. Дослідження впливу комплексних наномодифікаторів на міцність дрібнозернистого бетону. Східно-Європейський журнал корпоративних технологій, 2018, (6/92), с. 29-33.

[6] Шишкіна, О. Шишкін, О. Застосування ефекту малої концентрації у технології бетону. Серія конференцій IOP: Матеріалознавство та інженерія, 2020, 907 (1), 012038

[7] Шишкіна О.О., Шишкін О.О. Вплив температури та вологості навколишнього середовища, в якому відбувається твердіння бетону, на ефективність застосування поверхневого мікродозування. Серія конференцій IOP: Матеріалознавчий форум, 2022, 1066, с. 169-174.

[8] Шишкіна О.О. Керування морфологією будівельних об'єктів. Кривий Ріг: Чернявський Д.О, 2021 – 284 с.

[9] Шишкіна О.О. Керування структурою води, призначеної для виготовлення дрібнозернистого бетону. Науковий вісник будівництва, 2020, т. 101, № 3. С. 133-141.

[10] Collepardi M. The new concrete. Italy, 2006. – 421 s.

[11] Cortas R., Rozière E., Staquet S., Loukili A., Delplancke-Ogletree M.-P. Effect of the water saturation of aggregates on the shrinkage induced cracking risk of concrete at early age. Cement and Concrete Composites, 2014. Vol. 50. p. 1-9.

[12] Derevianko V. N., Hryshko H. M., Moroz W. Yu. The effect of nanoadditives on the hydration of gypsum

заміні частини нанопорошку цементу дешевшими нанопорошками. Результати досліджень можуть бути використані при будівництві, реконструкції, ремонті та підсиленні залізобетонних конструкцій будівель та споруд, зокрема аеропортів. Що забезпечить скорочення будівельних робіт та підвищення їх якості.

REFERENCES

[1] Belichenko, O.A., Tolmachev, S.M. (2020) Doslidzhennia fizyko-khimichnykh vlastyvostei vodnykh suspensii mikronapovniuvachiv z superplastyfikatoramy. Resursoekonomni materialy, konstruktssii, budivli ta sporudy. Rovno. 38. 66-79 [in Ukrainian]

[2] Vandolovskyi, O.H., Sheptun S.Yu. (2020) Reolohichni osoblyvosti ushchilnennia dribnozernystoi betonnoi sumishi v paliakh, yaki formuiut v poperedno sformovanykh sverdlovynakh. Naukovyi visnyk budivnytstva. T. 99. № 1. 42-48 [in Ukrainian]

[3] Vandolovskyi, O.H. (2016) Mitsnisni vlastyvosti osoblyvo dribnozernystoho betonu na vidkhodakh hirnycho-zbahachuvalnykh kombinativ u roli zapovniuvacha. Zbirnyk naukovykh prats UkrDUZT. 160. 17-24. [in Ukrainian]

[4] Shyshkin, O. O. (2022) Features of the dispersed system "hydraulic binder-complex hydrophilic surfactant" Resource- and energy-saving technologies in the chemical industry: Scientific monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", с. 117-143 [in Ukrainian]

[5] Shyshkina, O. Shyshkin, O. (2018) Study of the influence of complex nanomodifiers on the strength of fine-grained concrete. East European Journal of Corporate Technologies, (6/92), с. 29-33. [in Ukrainian]

[6] Shyshkina, O. Shyshkin, O. (2020) Application of the effect of low concentration in concrete technology. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 907 (1), 012038 [in Ukrainian]

[7] Shyshkina, O. Shyshkin, O. (2020) Application of the effect of low concentration in concrete technology. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 907 (1), 012038 [in Ukrainian]

[8] Shyshkina, O.O. (2021) Management of the morphology of construction objects. Kryvyi Rih: Chernyavsky D.O., 284 p. [in Ukrainian]

[9] Shyshkina, O.O. (2020) Management of the structure of water intended for the production of fine-grained concrete. Scientific bulletin of construction, vol. 101, No. 3. P. 133-141 [in Ukrainian]

[10] Collepardi M. (2006) The new concrete. Italy. 421.

[11] Cortas R., Rozière E., Staquet S., Loukili A., Delplancke-Ogletree M.-P. (2014) Effect of the water saturation of aggregates on the shrinkage induced cracking risk of concrete at early age. Cement and Concrete Composites. Vol. 50. p. 1-9.

[12] Derevianko V. N., Hryshko H. M., Moroz W. Yu. (2018) The effect of nanoadditives on the hydration of gypsum binding agents. Collection of scientific works of UkrDUZT, issue 178. p. 88-97.

binding agents. Collection of scientific works of UkrDUZT, 2018, issue 178. p. 88-97.

[13] Schmidt M. Vonder nanotechnologiezum ultrahochfesten beton. 16 Intern. Baustoff. Konf., Weimar, 2006, p. 2-1405...2-1416.

[14] Tam C.M., Tam V.W.Y., Ng K.M. Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 26. Issue 1. 2012. p. 79-89.

[15] Wang Y., Yan H. Effect of naphthalene compounded superplasticizer on strength and shrinkage of ready-mixed concrete. Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 174-177. 2012. p. 488-495.

[16] Termkhajornkit, P. Nawa T., Nakai M., Saito T. Effect of fly ash on autogenous shrinkage. Cement and Concrete Research. 2005. Vol. 35, Issue 3. p. 473-482.

[17] Yang, Y. Sato R., Kawai K. Autogenous shrinkage of high-strength concrete containing silica fume under drying at early ages. Cement and Concrete Research. 2005. Vol. 35, Issue 3. P. 449-456.

[13] Schmidt M. (2006) Vonder nanotechnologiezum ultrahochfesten beton. 16 Intern. Baustoff. Konf., Weimar, 2-1405...2-1416.

[14] Tam C.M., Tam V.W.Y., Ng K.M. (2012) Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong. Construction and Building Materials. Vol. 26. Issue 1. 2012. 79-89.

[15] Wang Y., Yan H. (2012) Effect of naphthalene compounded superplasticizer on strength and shrinkage of ready-mixed concrete. Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 174-177. 488-495.

[16] Termkhajornkit, P. Nawa T., Nakai M., Saito T. (2005) Effect of fly ash on autogenous shrinkage. Cement and Concrete Research. Vol. 35, Issue 3. 473-482.

[17] Yang, Y. Sato R., Kawai K. 2005 () Autogenous shrinkage of high-strength concrete containing silica fume under drying at early ages. Cement and Concrete Research. Vol. 35, Issue 3. 449-456.

ABSTRACT

Shyshkin A., Domnichev A. The effect of ultra-low doses of surfactants on the strength of an artificial stone obtained on a mixture of nanopowders.

This article describes the results of determining the effect of ultra-small doses of surface-active substances on the strength of artificial stone obtained from a mixture of nanopowders

Goal. *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 nanopowder.*

Methodology. *It includes the following methods: compositional and functional analysis; analysis of studies on the use of nanopowders and surface-active substances; formalization method; standard methods of testing building materials; comparative analysis; systematization and generalization of foreign and domestic experience.*

The results. *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. The international experience of using surface-active substances and nanopowders is analyzed. 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.*

Scientific novelty. *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.*

Practical significance. *The results of the research can be used in the production of concrete and reinforced concrete products and structures.*

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

AUTHOR'S NOTE:

Shyshkin Alexander, Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Technology of Building Products, Materials and Structures, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: 5691180@gmail.com, orcid: 0000-0003-3331-1422

Domnichev Andriy, Master's degree, Graduate student, Department of Technology of Building Products, Materials and Structures, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: 5691180aa@gmail.com, orcid: 0000-0001-5916-3160

Стаття подана до редакції 30.04.2023 р.