

**ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ БЕТОНІВ,  
ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД,  
ПІД ДІЄЮ НЕГАТИВНИХ І ЗНАКОЗМІННИХ ТЕМПЕРАТУР**

**О.О. Шишкіна<sup>1</sup>, О.О. Шишкін<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н., доцент кафедри технології будівельних виробів, матеріалів та конструкцій,  
Криворізький національний університет, Кривий Ріг,  
Дніпропетровська область, Україна,  
ORCID ID: 0000-0003-3716-9347

<sup>2</sup>д.т.н., професор кафедри технології будівельних виробів, матеріалів та конструкцій,  
Криворізький національний університет, Кривий Ріг,  
Дніпропетровська область, Україна,  
ORCID ID: 0000-0003-3331-1422

**Анотація**

На території України знаходиться значна кількість річок та морське узбережжя. На їхніх берегах розташована велика кількість міст. Гідротехнічні споруди в багатьох містах внаслідок їхньої інтенсивної експлуатації перебувають у жалюгідному стані. Ремонт таких споруд, як правило, дуже трудомісткий і дорогий. Метою роботи було вивчення впливу на властивості дрібнозернистого бетону, призначеного для будівництва гідротехнічних споруд знакозмінних температур і забезпечення необхідної міцності й морозостійкості цього бетону за рахунок зміни його структури шляхом використання органічних і мінеральних добавок у вигляді гідрофобної поверхнево-активної речовини й залізовмісного заповнювача. У процесі виконання експериментів застосовувалися: в'язуче – портландцемент Криворізького цементного заводу, заповнювачі – суміш дніпровського річкового піску та відходів гірничо-збагачувального комбінату, як гідрофобна поверхнево-активна речовина – олеат натрію. В умовах експерименту введення олеату натрію та залізовміщуючого заповнювача до складу бетону призводить до зменшення зміни лінійних розмірів зразків під дією знакозмінних температур. Досліджувалася міцність дрібнозернистого бетону під час стиску й розтягу залежно від вихідного співвідношення між компонентами дисперсної системи «портландцемент – заповнювач – вода – олеат натрію», виду й вмісту добавок, які вводилися, а також температури навколишнього середовища. В умовах експерименту під час твердіння дисперсної системи «портландцемент – заповнювач – вода – олеат натрію» протягом 28 діб у нормальних умовах використання як добавки олеату натрію призводить до збільшення міцності бетону як під час стиску, так і під час розтягу. Установлено, що застосування для виготовлення дрібнозернистих бетонів, призначених для гідротехнічного будівництва, змішаного заповнювача, частина якого отримана подрібненням гірських залізовміщуючих порід, а також води, структурованої колоїдними гідрофобними поверхнево активними речовинами, забезпечує підвищення стійкості бетонів до дії знакозмінних температур.

**Ключові слова:** міцність, вода, бетон, знакозмінні температури, усадка.

**PECULIARITIES OF WORK OF FINE-GRAIN CONCRETE, INTENDED  
FOR HYDROTECHNICAL STRUCTURES, UNDER THE ACTION  
OF NEGATIVE AND CHANGING TEMPERATURES**

**O.O. Shyshkina<sup>1</sup>, O.O. Shyshkin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D., Associate Professor at the Department of Technology  
of Construction Products, Materials and Structures,  
Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Dnipropetrovsk region, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0003-3716-9347

<sup>2</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Technology  
of Construction Products, Materials and Structures,  
Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Dnipropetrovsk region, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0003-3331-1422

**Summary**

*On the territory of Ukraine there is a significant number of rivers and the sea coast. Hydraulic structures in many cities due to their intensive operation are in poor condition. Repair of such structures is usually very time consuming and expensive. The aim of the work was to study the effect on the properties of fine-grained concrete intended for construction of hydraulic structures of alternating temperatures and to provide the necessary strength and frost resistance of this concrete by changing its structure by using organic and mineral additives in the form of hydrophobic surfactant and iron filler. In the process of performing the experiments were used: binder – Portland cement of the Kryvyi Rih Cement Plant, aggregates – a mixture of Dnieper river sand and waste from the mining and processing plant, as a hydrophobic surfactant – sodium oleate. Under the conditions of the experiment, the introduction of sodium oleate and iron-containing aggregate into the concrete composition reduces the change in the linear dimensions of the samples under the action of alternating temperatures. THE compressive and tensile strength of fine-grained concrete was investigated depending on the initial ratio between the components of the dispersed system "Portland cement – aggregate – water – sodium oleate", the type and content of additives that were introduced, as well as ambient temperature. Under the conditions of the experiment during the hardening of the dispersed system "Portland cement – aggregate – water – sodium oleate" for 28 days under normal conditions of use as an additive of sodium oleate leads to an increase in the strength of concrete, both in compression and tensile strength. It is established that the use of mixed aggregate for the production of fine-grained concrete intended for hydraulic engineering, part of which is obtained by grinding rock-bearing rocks, as well as water structured by colloidal hydrophobic surfactants, increases the resistance of concretes to alternating temperatures.*

**Key words:** strength, water, concrete, temperature variables, shrinkage.

**Вступ.** На території України знаходиться значна кількість річок, та морське узбережжя. На їхніх берегах розташована велика кількість міст. Гідротехнічні споруди в багатьох містах внаслідок їхньої інтенсивної експлуатації перебувають у жалюгідному стані. Ремонт таких споруд, як правило, дуже трудомісткий і дорогий. Для рішення завдання підвищення експлуатаційних характеристик ефективних гідротехнічних дрібнозернистих бетонів (ДЗБ), необхідна оптимізація складів

і технології їхнього готування, а також використання різних органічних і мінеральних добавок, що модифікують, для підвищення експлуатаційних показників таких бетонів.

**Постановка проблеми.** Залізобетонні конструкції широко застосовуються в сучасному гідротехнічному будівництві. За очевидних переваг залізобетонних конструкцій (висока міцність, відносно низька матеріалоемність, простота монтажу та ін.) актуальною проблемою в складних умовах експлуатації можна назвати забезпечення довговічності бетону подібних конструкцій. Одними з основних показників якості, що забезпечують довговічність конструкцій гідротехнічних, у тому числі й водопропускних спорудах, є міцність і морозостійкість бетону. Також для тонкостінних конструкцій висуваються вимоги високої рухливості суміші. у процесі експлуатації більша частина конструкцій гідротехнічних споруд піддаються динамічним впливам, а також впливам перемінного рівня води, що в осінньо-зимовий період призводить до впливу на означені конструкції знакозмінних температур. У цей час для підвищення експлуатаційних властивостей і довговічності бетону застосовуються модифікатори різної природи: пластифікатори, добавки, що кольматують, і наповнювачі. Крім того, для відповідальних тонкостінних конструкцій усе ширше застосовується дисперсне армування фіброю. Однак питанню впливу знакозмінних температур на залізобетонні конструкції в проведених дослідженнях приділялось недостатньо уваги, що потребує проведення певних досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одержання бетонів із заданими властивостями забезпечується керуванням його структуроутворення. Відповідно до [1], керування процесами структуроутворення в цементному камені припускає створення таких умов твердіння, при яких його структура набуває максимальної міцності. Міцність же структури цементного каменю, відповідно до [1], визначається насамперед ступенем гідратації вихідних клінкерних мінералів, а також кількістю й типом кристалічних зростків між ними.

Виходячи з того, що до складу бетону входить як цементний камінь, так і заповнювачі [2–4], його структура визначається не тільки структурою цементного каменю, а й вмістом усіх структурних елементів: цементного каменю й заповнювачів, а також їхнім взаємним розташуванням і співвідношенням. Отже, за аналогією із цементним каменем, керування процесами структуроутворення бетону полягає в створенні в ньому таких умов твердіння, при яких він набуває необхідних фізико-механічних властивостей.

У результаті проведених досліджень в умовах із підвищеною температурою й зниженою вологістю середовища встановлені основні закономірності перенесення маси й зневоднювання матеріалу. При цьому найбільший інтерес становлять роботи І. Б. Заседателева і Є. І. Богачова [5; 6]. Перший розробив класифікацію кліматичних факторів, які впливають на бетон. При цьому зазначено, що зміна властивостей бетону відбувається насамперед через вплив двох факторів: вологості повітря й температури навколишнього середовища.

Пізніше зроблено спроби знайти критерій атмосферостійкості бетону, що дозволяв би об'єктивно оцінювати інтенсивність впливу навколишнього середовища на матеріал, що твердіє. Критерії Ю.М. Баженова [7], а потім і М.М. Вахітова спрямовані на порівняння міцності матеріалу, що зазнав у тій або іншій мірі вплив

навколишнього середовища, з міцністю бетону нормального твердіння. Аналогічні за характером також роботи Г.І. Горчакова зі співробітниками [8], що дозволяють оцінити стійкість матеріалу у взаємозв'язку з його структурними змінами. У роботі [9] показана можливість урахування впливу навколишнього середовища на формування міцності бетону, що твердіє в умовах підвищених температур.

Слід звернути увагу на низку важливих результатів, що розкривають фізичну природу впливу навколишнього середовища на бетон, отриманих авторами [10–13], а також адаптації бетону до дії зовнішнього середовища [14].

Водночас отримано нові можливості керування властивостями бетону за рахунок введення комбінованого заповнювача [15], насамперед за рахунок структурирування води, призначеної для виготовлення бетону, використанням ефектів гідрофобної гідратації та надмалих доз [16; 17]. Модифіковані таким чином бетони мають високу швидкість формування структури та міцність при стиску, яка досягає 190% міцності бетонів, виготовлених без добавок. Висока якість таких бетонів дозволяє припустити їхню високу стійкість до дії знакозмінних температур, а отже, й для використання в гідротехнічному будівництві.

**Метою роботи** було вивчення впливу на властивості дрібнозернистого бетону, призначеного для будівництва гідротехнічних споруд знакозмінних температур і забезпечення необхідної міцності й морозостійкості даного бетону за рахунок зміни його структури шляхом використання органічних і мінеральних добавок у вигляді гідрофобної поверхнево-активної речовини й залізовмісного заповнювача. **Завдання досліджень:** вивчити вплив знакозмінних температур навколишнього середовища на міцнісні властивості бетону, модифікованого заповнювачем на основі залізовмісної речовини та гідрофобною поверхнево-активною речовиною; установити вплив складу цього бетону на його міцність під час твердіння в умовах знакозмінного температурного впливу навколишнього середовища.

**Виклад основного матеріалу.** У процесі виконання експериментів застосовувалися: в'язуче – портландцемент Криворізького цементного заводу, заповнювачі – суміш дніпровського річкового піску та відходів гірничо-збагачувального комбінату, як гідрофобна поверхнево-активна речовина – олеат натрію.

Виготовлені цементне тісто й розчин зберігали до укладання в морозильну камеру, яка давала можливість підтримувати температуру в її об'ємі від +20 °С до –20 °С. З отриманих цементного тіста й розчинної суміші готували зразки-балочки розміром 40 × 40 × 160 мм, які піддавалися випробуванням на вигин і стиск. Укладку бетону у форми закінчували через час, визначений планом випробувань, після приготування бетонної суміші. Для випробувань зразків-кубів на стиск була використана універсальна випробувальна машина УММ-50. Навантаження при випробуваннях зростали рівномірно зі швидкістю 0,2 МПа в 1 сек.

Вплив змінних температур на усадку цементного розчину вивчався при перемінному заморожуванні й розморожуванні зразків розміром 10 × 5 × 40 мм, виготовлених із цементного розчину різного складу.

Після виготовлення визначали розміри зразків вимірюванням мікроскопом «МИР-12» потім зразки поміщали в морозильну камеру. При досягненні в камері заданої температури, зразки виймали з неї й, після вимірювання їхніх розмірів мікроскопом «МИР-12», розморожували до вихідної температури й знову вимірювали їхні розміри.

В умовах експерименту введення олеату натрію та залізовміщуючого заповнювача до складу бетону призводить до зменшення зміни лінійних розмірів зразків під дією знакозмінних температур (рис. 1, 2).

Отже, наявність у дрібнозернистому бетоні залізовмісної речовини в складі заповнювача та олеату натрію як добавки до цементу знижує вплив температури навколишнього середовища на об'ємні зміни компонентів бетону, вочевидь, насамперед води.

Таким чином, введення в цементне тісто олеату натрію приводить до зменшення впливу температури навколишнього середовища на властивості цементного тіста. Це пояснюється збільшенням у такому бетоні кількості води, яка знаходиться у фізично зв'язаному стані, що підтверджується збільшенням водотримуючої спроможності цементного тіста за рахунок адсорбування води залізовмісною речовиною – яку використано в якості дрібного заповнювача.

У наступній групі експериментів досліджувалася міцність дрібнозернистого бетону під час стиску й розтягу залежно від вихідного співвідношення між компонентами дисперсної системи «портландцемент – заповнювач – вода – олеат натрію», виду й вмісту добавок, які вводилися, а також температури навколишнього середовища. Дослідження виконувалися відповідно до прийнятої методики.

Для визначення впливу негативних і знакозмінних температур на міцність дрібнозернистого бетону насамперед було визначено його міцність під час твердіння під дією позитивних температур як вихідну величину.

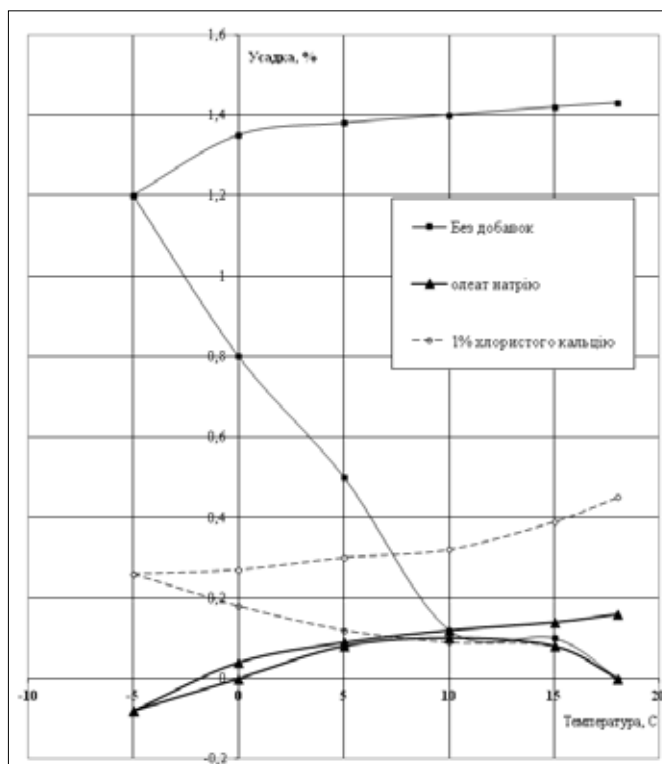


Рис. 1. Усадка бетону за зміни температури від 18 °C до -5 °C

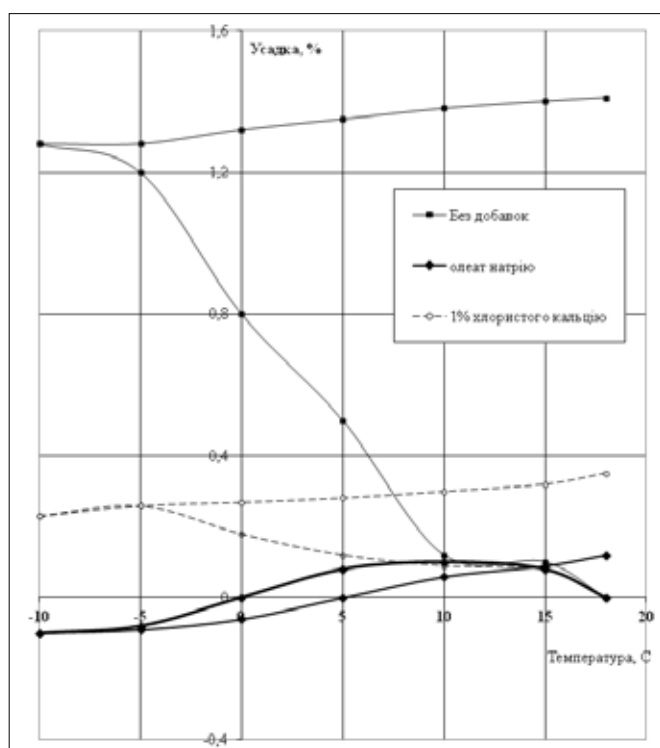


Рис. 2. Усадка цементного тіста за зміни температури від 18 °С до -10 °С

В умовах експерименту під час твердіння дисперсної системи «портландцемент – заповнювач – вода – олеат натрію» протягом 28 діб у нормальних умовах використання як добавки олеату натрію приводить до збільшення міцності бетону як під час стиску, так і під час розтягу (табл. 1).

Таблиця 1

**Міцність цементного каменю, отриманого в результаті твердіння дисперсної системи «портландцемент – добавка – вода»**

Склад цементу		Міцність під час стиску		Міцність під час розтягу	
Вміст відходів ГЗК у заповнювачі, %	Кількість олеату натрію, %	Абсолютна, МПа	Відносна, %	Абсолютна, МПа	Відносна, %
–	–	45,4	100	1,46	100
40	0,0003	76,0	167	1,40	144
50	0,0003	79,6	175	2,30	129
50	0,0004	76,0	167	1,41	82,2
50	0,0002	74,6	164	1,41	96,6
60	0,0002	68,0	150	1,94	133
60	0,0003	66,2	146	1,20	96,6
60	0,0004	64,0	141	2,10	98,9
CaCl <sub>2</sub>	1,0	64,8	143	1,88	158
Силікат натрію	0,5	55,6	122	1,68	115

Аналіз отриманих у дослідіах результатів показав, що оптимальним за міцністю бетону за стиску є вміст (для системи «портландцемент – заповнювач – вода – олеат натрію») залізовміщуючого компоненту заповнювача в кількості 50% від маси заповнювача та 0,0003% олеату натрію від маси цементу. Ці величини досить близькі до раніше встановлених оптимальних вмістів означених складових у системі за властивостями цементного тіста.

Із часом міцність системи «портландцемент – заповнювач – вода – олеат натрію», що твердіє за позитивної температури, збільшується. При цьому наявність залізовміщуючого компоненту заповнювача та олеату натрію забезпечує максимальну швидкість формування міцності цементного каменя (рис. 3).

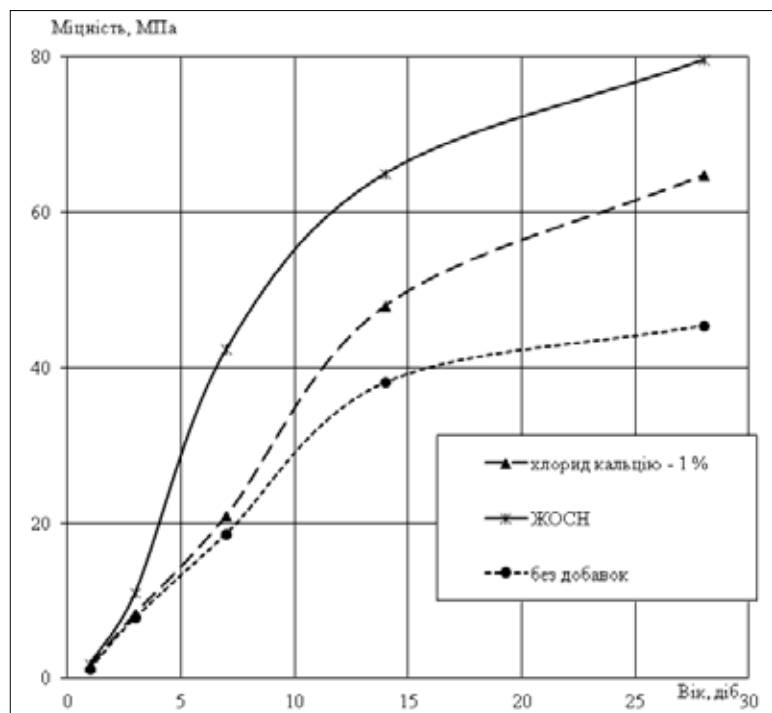


Рис. 3. Зміна міцності цементного каменя в часі  
(Температура твердіння  $(18\pm 2)$  °С)

Витрати компонентів: 50% залізовмісного компонента від маси заповнювача та 0,0003% олеату натрію від маси системи цементу, водоцементне відношення 0,42).

Отже, використання в дисперсній системі «портландцемент – заповнювач – вода» як добавки залізовмісної речовини та олеату натрію приводить до підвищення міцності бетону, а також і швидкості її формування. Це здійснюється за рахунок збільшення ступеня гідратації мінералів портландцементу, зокрема трикальцієвого силікату та утворення підвищеної кількості мінералів, що містять значну кількість хімічно зв'язаної води.

Вплив раннього охолодження й заморожування на міцність дрібнозернистого бетону під час стиску визначався залежно від складу дисперсної системи «портландцемент – заповнювач – вода – олеат натрію», віку, у якому вона піддавалася

охолодженню або заморожуванню, швидкості охолодження та часу дії низьких позитивних або негативних температур. Під час проведення експериментів використовували Криворізький портландцемент, добавку олеату натрію. Як залізовмісну речовину використовували відходи ГЗК. Експерименти проводили відповідно до прийнятої методики. Виготовлені зразки після витримки за позитивної температури протягом часу, який було задано планом експерименту, поміщали в морозильну камеру, де їх охолоджували до заданої температури, і витримували під дією цієї температури певний час, який було визначено планом експерименту. Швидкість охолодження регулювали зміною розмірів зразків. Для уникнення впливу масштабного фактора аналізувалася відносна міцність при стиску. Міцність цементного каменю визначалася у віці 28 діб, за твердіння після заморожування та розморожування до температури  $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ . За одиничне значення бралася міцність бетону без добавок.

В умовах експерименту зменшення часу від моменту виготовлення цементного тіста до початку зниження температури й збільшення швидкості її зниження призводить до зниження міцності цементного каменю (рис. 4–7). При цьому найбільші втрати міцності спостерігаються, коли час початку охолодження не перевищує часу початку тужавлення цементного тіста.

Найменше впливає температура середовища твердіння на дисперсну систему «портландцемент – заповнювач – вода – олеат натрію». Це пояснюється тим, що добавка олеату натрію змінює стан води в цій системі за рахунок того, що значна її кількість адсорбційно (фізично) зв'язується залізовмісною речовиною й кремнегелем. Крім цього наявність у цій системі залізовмісної речовини знижує її усадочні деформації, а вуглеводневі радикали олеату натрію перешкоджають розширенню системи під час охолодження, виконуючи роль мікроанкерів.

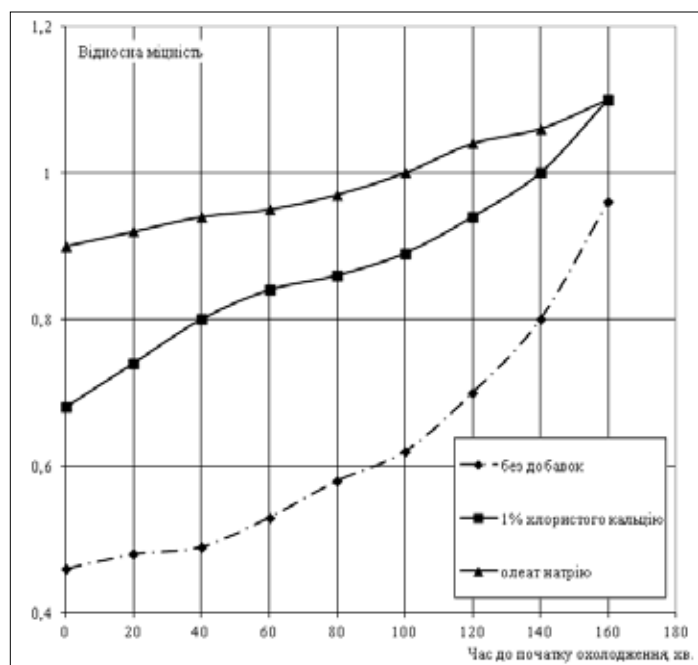


Рис. 4. Вплив часу до початку охолодження дисперсної системи «портландцемент – добавка – вода» до температури  $5^\circ\text{C}$  на величину міцності цементного каменю, що утворюється



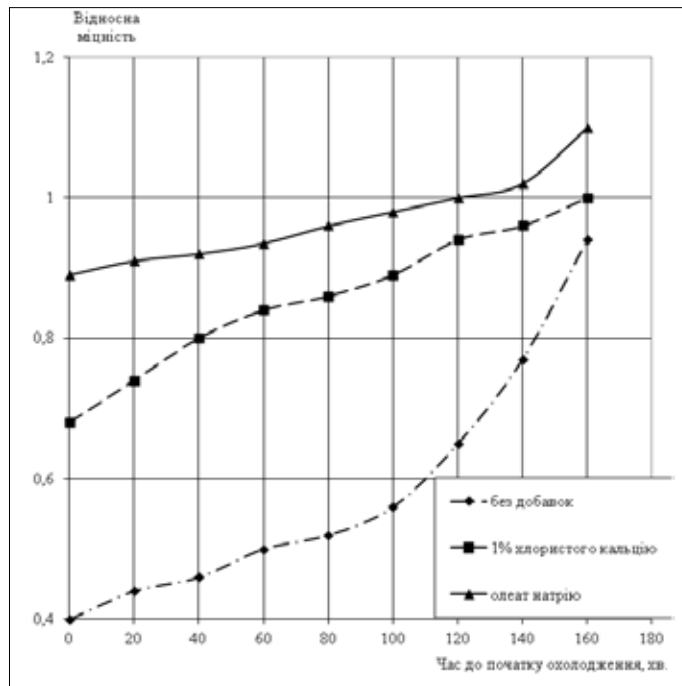


Рис. 5. Вплив часу до початку охолодження дисперсної системи «портландцемент – добавка – вода» до температури 0 °С на величину міцності цементного каменю, що утвориться

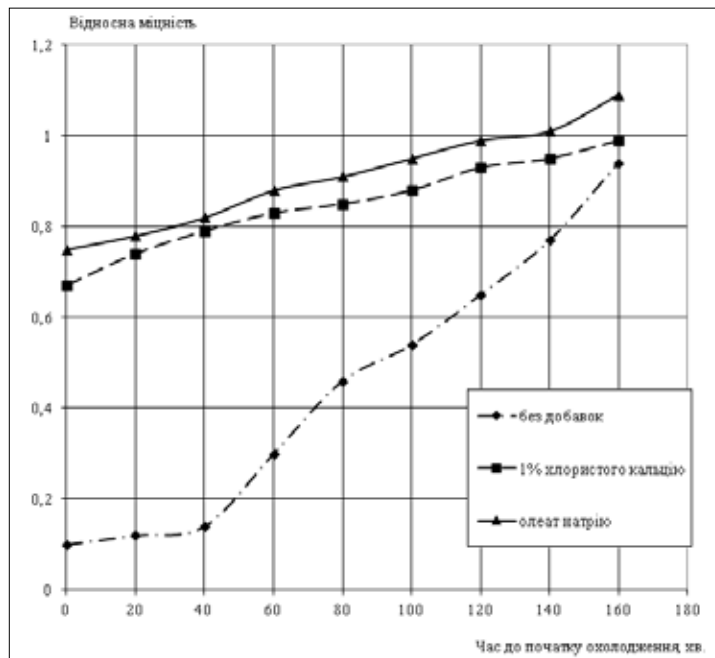


Рис. 6. Вплив часу до початку охолодження дисперсної системи «портландцемент – добавка – вода» до температури -10 °С на величину міцності цементного каменю, що утвориться

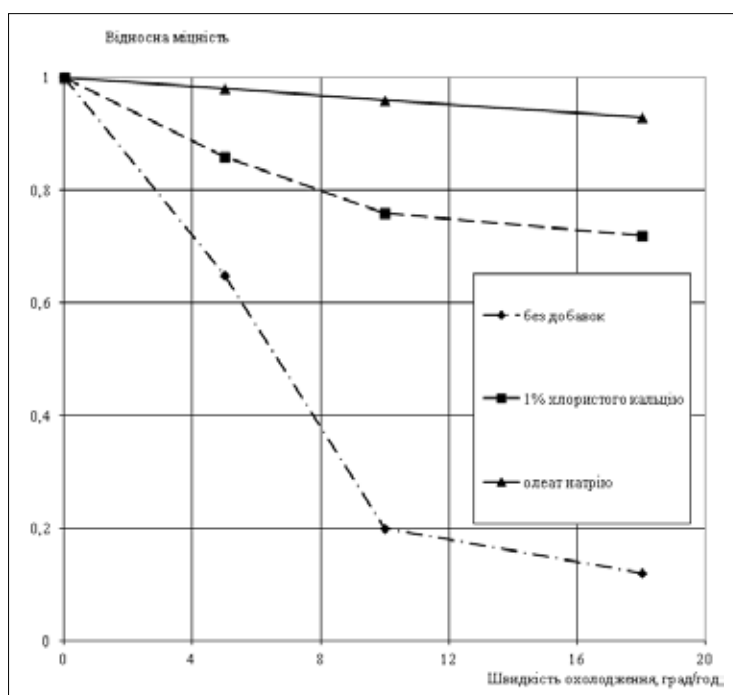


Рис. 7. Вплив швидкості охолодження дисперсної системи «портландцемент – добавка – вода» до температури  $-10^{\circ}\text{C}$  на величину міцності цементного каменю, що утвориться

Це знижує температурні деформації в системі, зменшуючи деструктивні процеси під час формування її структури. Отримані дані узгоджуються з результатами визначення впливу температури на властивості цементного тіста, отриманого на основі цієї системи. Крім цього, за рахунок наявності компонентів заповнювача, які містять залізо, у процесі гідратації цієї системи утворюються мінерали, які містять значну кількість хімічно зв'язаної води. Тобто в дисперсній системі «портландцемент – заповнювач, що містить залізо – вода – олеат натрію» на усьому протязі її існування підвищена кількість знаходиться спочатку у фізично, а потім у хімічно зв'язаному стані, що й зумовлює відмінності у властивостях цієї системи порівняно з відомими.

Отримані результати можна пояснити таким чином. У воді за певної концентрації молекули гідрофобної поверхнево-активної речовини (МПАР) (рис. 8) об'єднуються в асоціати – дімери (рис. 9).

Рідка вода, за загальноприйнятою моделлю, складається з областей певної будови, званих кластерами (рис. 10), до складу яких можуть входити певні об'єми, зайняті газами або іншими речовинами.

Введенням у воду молекул гідрофобної поверхнево-активної речовини (МПАР) відбувається структурування води (рис. 11), тобто утворення безперервної фрактальної сітки з молекул води.



Рис. 8. Схема молекули гідрофобної поверхнево-активної речовини

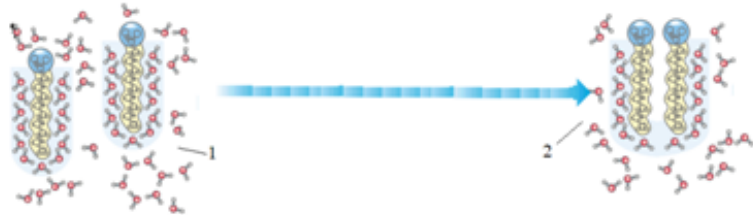


Рис. 9. Зміни структури системи «вода – колоїдна ПАР (МПАР)»:  
1 – вільні молекули пар; 2 – димери молекул МПАР

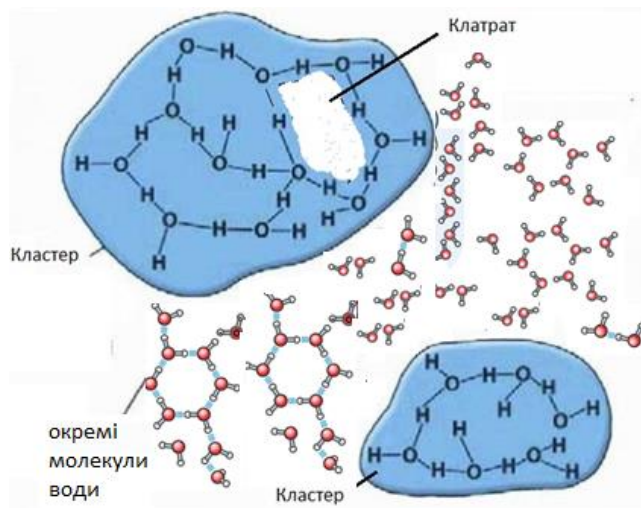


Рис. 10. Модель структури води

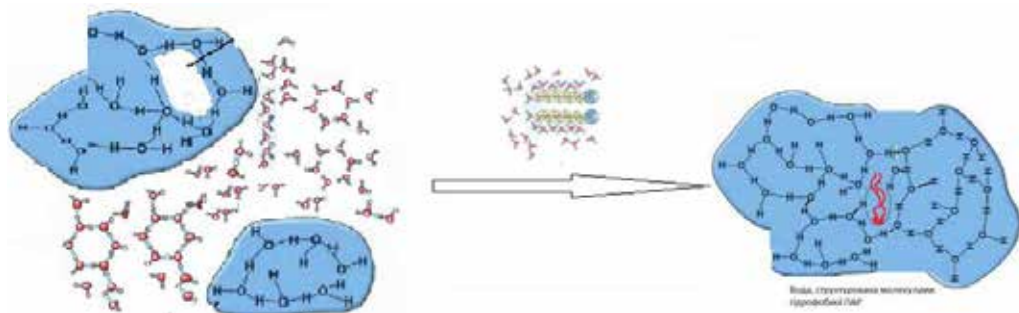


Рис. 11. структування води молекул гідрофобної поверхнево-активної речовини

Тобто дімери МПАР, які залежно від виду МПАР мають розміри від 5 до 50 нм (тобто за розмірами відносяться до наночастинок), ефективно здійснюють хімічну активацію води, що й пояснює отримані результати досліджень.

**Висновки.** Установлено, що застосуванням для виготовлення дрібнозернистих бетонів, призначених для гідротехнічного будівництва, змішаного заповнювача, частина якого отримана подрібненням гірських залізозміщуючих порід, а також води, структурованої колоїдними гідрофобними поверхнево активними речовинами, забезпечується підвищення стійкості бетонів до дії знакозмінних температур. Дрібнозернисті бетони, отримані за такою технологією, мають високу швидкість формування структури і, як наслідок, міцності при стиску, що дає змогу застосовувати їх для ремонту бетонних та залізобетонних гідротехнічних споруд.

Отримані ефекти пояснюються впливом гідрофобної поверхнево-активної речовини на структуру води, молекули якої утворюють суцільну фрактальну сітку, надаючи воді специфічні властивості. Концентрація гідрофобної поверхнево-активної речовини у воді для отримання значного ефекту становить від  $10^{-4}$  до  $10^{-6}$  М, що свідчить про наявність ефекту надмалих концентрацій.

Таким чином, застосування ефектів гідрофобної гідrataції та надмалих концентрацій дає змогу отримувати високоякісні дрібнозернисті бетони для спорудження та ремонту гідротехнічних споруд.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. Москва: Высш.шк., 1989. 384 с.
2. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Сиренко А.В. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / Київ : Будівельник, 1991. 144 с.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва: Высш.шк., 1978. 449 с.
4. Баженов Б.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. Москва: Стройиздат, 1984. 672 с.
5. Заседателев Н.Б., Богачев Е.И. Массообмен с внешней средой при твердении бетона в воздушно-сухих условиях. *Бетон и железобетон*. 1981. 8. С. 15–18.
6. Заседателев Н.Б., Петров-Денисов В.Г. Тепло- и массоперенос в бетоне специальных промышленных сооружений. Москва: Стройиздат, 1983. 167 с.
7. Баженов Ю.М. Критерий оценки поведения бетона в условиях сухого жаркого климата. *Бетон и железобетон*. 1981. 8. С. 9–11.
8. Горчаков Г.И., Лифанов И.И. Основные вопросы методик дилатометрических исследований. *Известия ВУЗов: Строительство и архитектура*. 1988. 10. С. 137–142.
9. Шишкин А.А. Влияние среды твердения на свойства бетона. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. 2001. 15. С. 32–36.
10. Яшин А.В. О некоторых деформативных особенностях бетона при сжатии. *Теория железобетона*. 1982. С. 78–84.
11. Nevander L. Betongrörsledningen i Björnsbyn efter 10 år. *Cement och Beton*. 1984. 2. S. 234–242.

12. Hognestad E., Hanson N.W., Mc Henry D. Concrete stress distribution in ultimate strength design. *ACI*. 1985. Vol. 27. 4. P. 455–479.
13. Чернявский В.Л. Влияние зовнішнього середовища на функціональний стан цементного бетону. *Физико-химическая механика материалов*. 1994. 1. С. 137–139.
14. Чернявский В.Л. Адаптация бетона. Днепропетровск: Нова Ідеологія. 2002. 116 с.
15. Шишкин А.А. Влияние вида наполнителя на прочность реакционных порошковых бетонов. *Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури*. 2015. 60. С. 355–358.
16. Шишкіна О.О., Шишкін О.О. Дослідження впливу нанокаталізу на формування міцності реакційного порошкового бетону. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2016. 1/6 (79). С. 55–60.
17. Шишкіна А.А. Шишкін А.А. Влияние коллоидных поверхностно-активных веществ на прочность мелкозернистых бетонов. *Наука та будівництво*. 2016. 1(7). С. 10–13.

#### REFERENCES

1. Kuznetcova, T.V., Kudriashov, I.V., Timashev, V.V. (1989) Physical chemistry of binders [Fizicheskaiia khimiia viazhushchikh materialov]. Moskva : Vyssh.shk. 384 [in Russian].
2. Solomatov, V.I., Vyrovoi, V.N., Dorofeev, V.S., Sirenko, A.V (1991) Composite building materials and structures with reduced material consumption [Kompozitsionnye stroitelnye materialy i konstrukcii ponizhennoi materialoemkosti]. Kiiv : Budivelnik, 144 [in Russian].
3. Bazhenov, Iu.M. (1978) Concrete technology [Tekhnologiia betona]. Moskva : Vyssh. shk. 449. [in Russian]
4. Bazhenov, B.M., Komar, A.G. (1984) Technology of concrete and reinforced concrete products [Tekhnologiia betonnykh i zhelezobetonnykh izdelii]. Moskva : Stroizdat. 672. [in Russian]
5. Zasedatelev, N.B., Bogachev, E.I. (1981) Mass transfer with the external environment during concrete hardening in air-dry conditions [Massoobmen s vneshnei sredoi pri tverdenii betona v vozdushno-sukhikh usloviakh]. Beton i zhelezobeton. 8. 15–18. [in Russian]
6. Zasedatelev N.B., Petrov-Denisov, V.G. (1983) Heat and mass transfer in concrete of special industrial structures [Teplo- i massoperenos v betone spetsialnykh promyshlennykh sooruzhenii]. Moskva: Stroizdat. 167 [in Russian].
7. Bazhenov, Iu.M. (1981) Criterion for assessing the behavior of concrete in a dry hot climate [Kriterii otsenki povedeniia betona v usloviakh sukhogo zharkogo klimata]. Beton i zhelezobeton. 8. 9–11 [in Russian].
8. Gorchakov, G.I., Lifanov, I.I. (1988) The main issues of dilatometric research methods [Osnovnye voprosy metodik dilatometricheskikh issledovani]. Izvestiia VUZov: Stroitelstvo i arkhitektura. 10. 137–142 [in Russian].

9. Shishkin, A.A. (2001) Influence of the hardening environment on the properties of concrete [Vliianie sredey tverdeniia na svoistva betona]. Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. 15. 32–36 [in Russian].
10. Iashin, A.V. (1982) On some deformative features of concrete in compression [O nekotorykh deformativnykh osobennostiakh betona pri szhatii]. Teoriia zhelezobetona. 78–84 [in Russian].
11. Nevander, L. (1984) Betongrörsledningen i Bjorsbyn efter 10år. *Cement och Beton*. 2. 234–242.
12. Hognestad, E., Hanson, N.W., Mc Henry, D. (1985) Concrete stress distribution in ultimate strength design. ACI. Vol. 27. 4. 455–479.
13. Cherniavskii, V.L. (1994) Influence of the external environment on the functional state of cement concrete [Vpliv zovnishnogo seredovishcha na funktsionalnii stan tsementnogo betonu]. Fiziko–khimicheskaia mekhanika materialov. 1. 137–139. [in Ukraine]
14. Cherniavskii, V.L. (2002) Concrete adaptation [Adaptatsiia betona]. – Dnepropetrovsk: Nova Ideologiya. 116 [in Russian].
15. Shishkin, A.A. (2015) Influence of the type of filler on the strength of reactive powder concretes [Vliianie vida napolnitelia na prochnost reaktivnykh poroshkovykh betonov]. Visnik Odeskoï derzhavnoï akademii budivnitctva i arkhitekturi. 60. 355–358 [in Russian].
16. Shishkina, O.O., Shishkin, O.O. 2016Pre-injection of nanocatalysis on the formation of micro-reaction powder concrete [Doslidzhennia vplivu nanokatalizu na formuvannia mitnosti reaktivnogo poroshkovogo betonu]. Vostochno-evropeiskii zhurnalпередovykh tekhnologii. 1/6 (79). 55–60 [in Ukraine].
17. Shishkina, A.A. Shishkin, A.A. 2016Influence of colloidal surfactants on the strength of fine-grained concrete [Vliianie kolloidnykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na prochnost melkozernistykh betonov]. Nauka ta budivnitctvo. 1(7). 10–13 [in Russian].